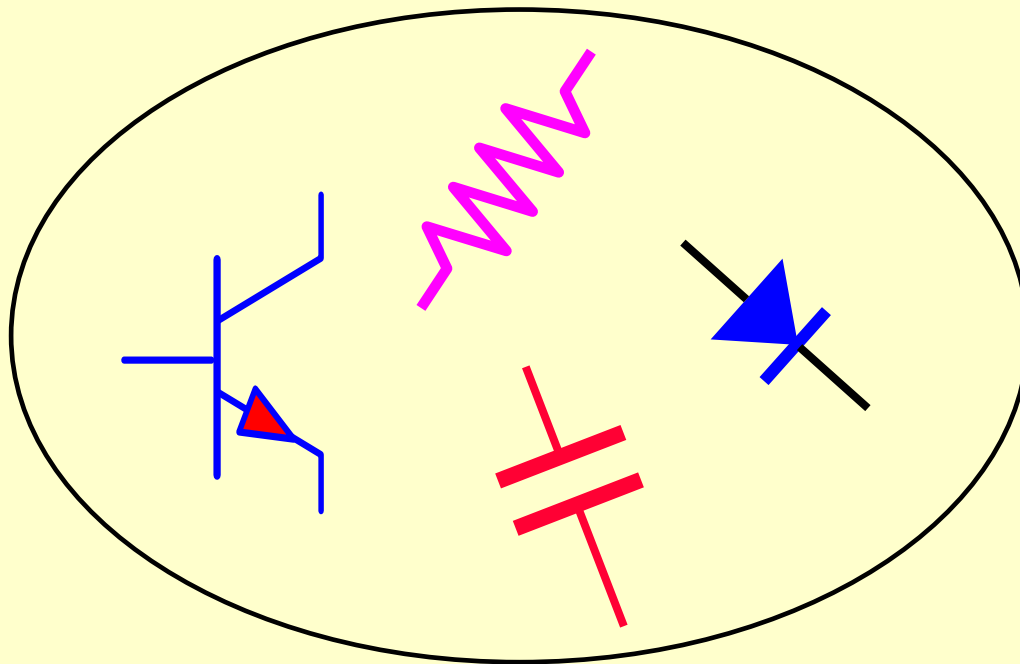


Électronique Fondamentale



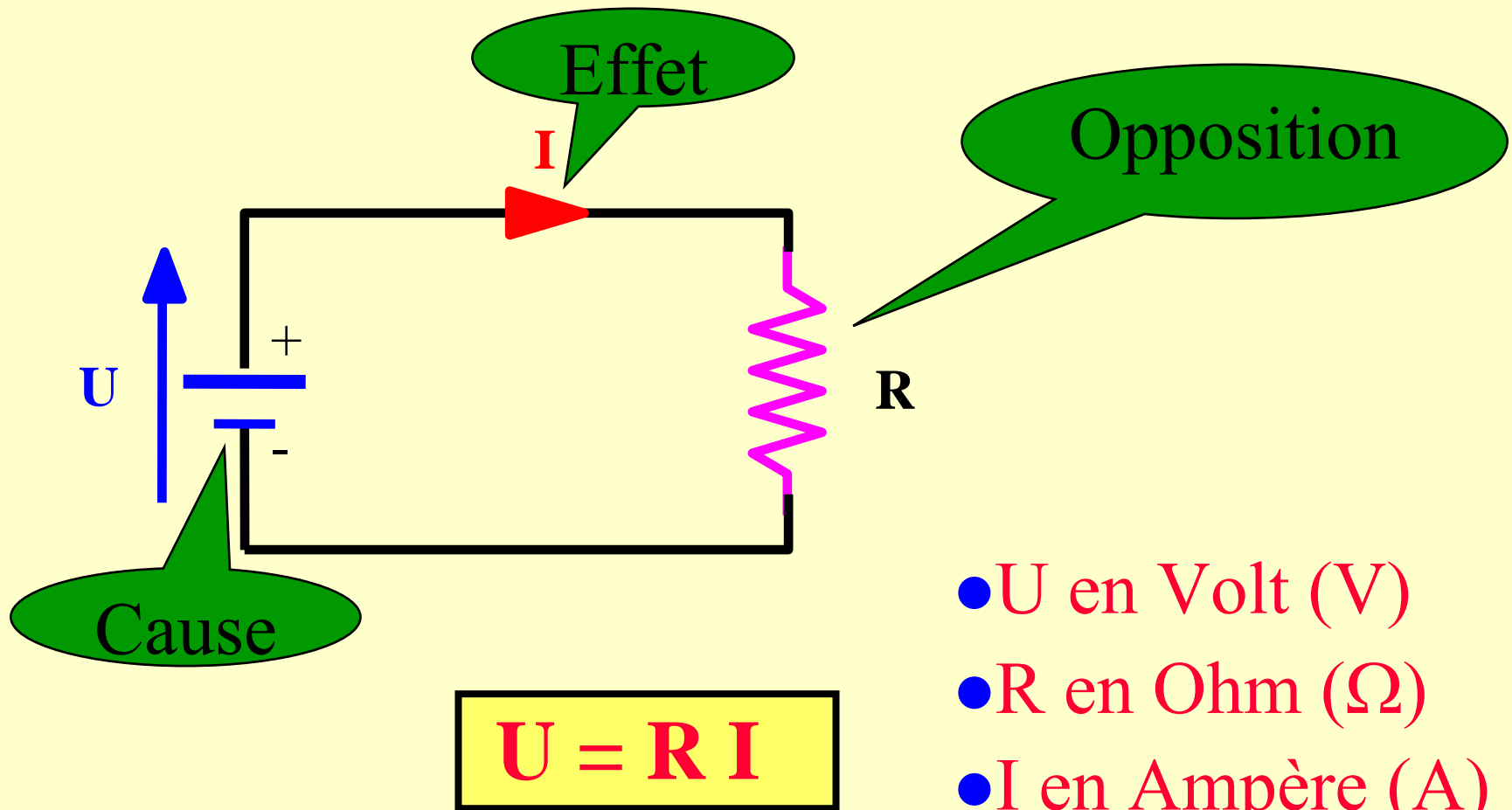
A. OUMNAD



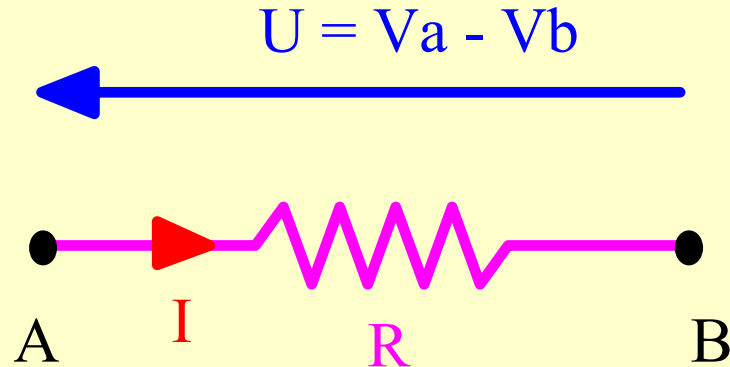
SOMMAIRE

- Notions générales d'Électricité et d'Électronique
- Conducteurs et Semi-Conducteur
- La diode et ses applications
- Le transistor et ses applications
- L'Amplificateur opérationnel et ses applications

Loi d'Ohm



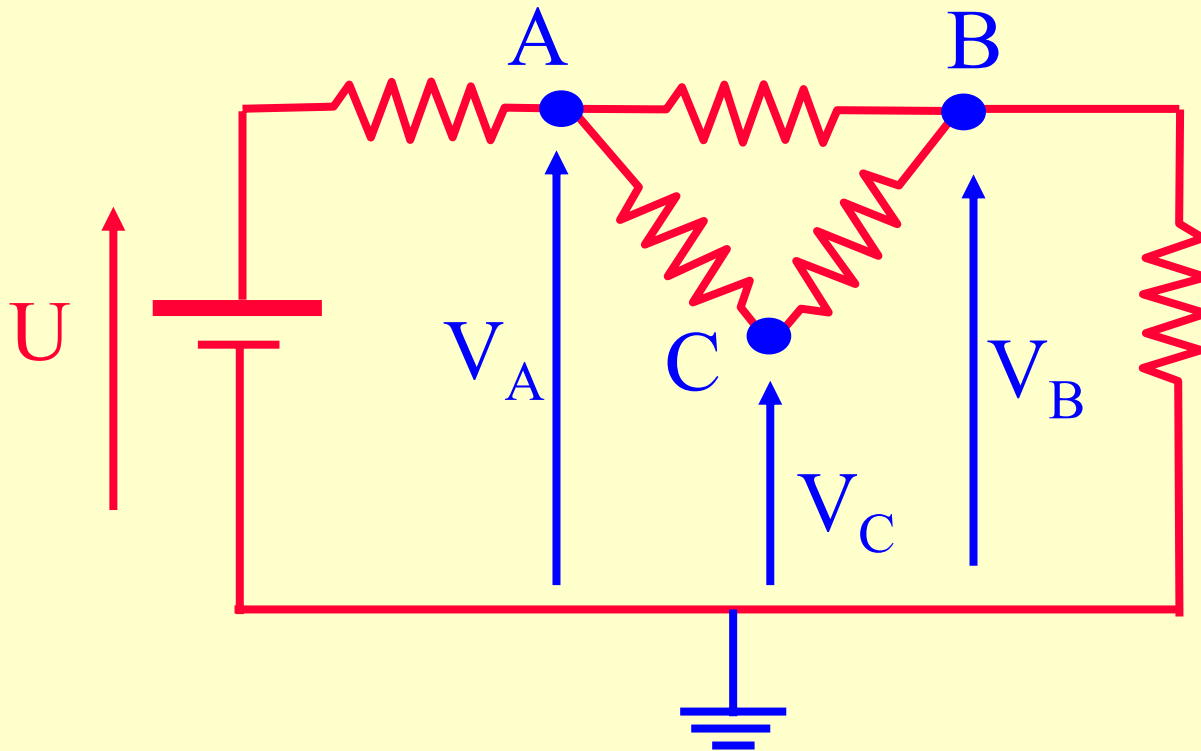
CONVERSION



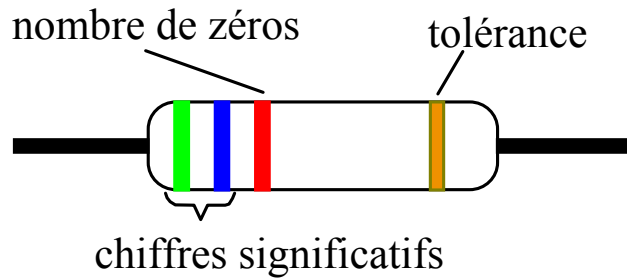
- flèches de la tension et du courant en sens inverse
- Tension \equiv différence de potentiel
- La flèche de la tension pointe vers le point de potentiel élevé " + *chaud* ", "*qui pousse*"

La masse

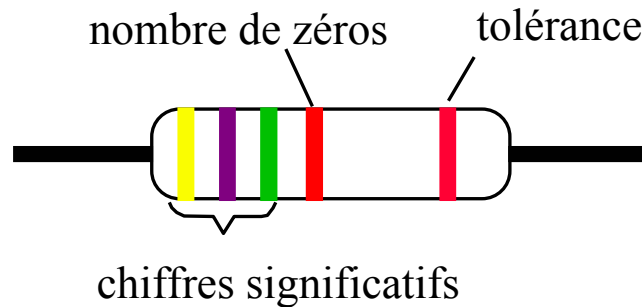
La borne (-) de l'alimentation est prise comme point de référence ($V=0$) par rapport auquel sont mesurés les tensions de tous les points du montage



Résistances








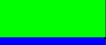



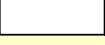
$$5600 \, \Omega = 5.6 \, \text{k} \, \Omega \pm 5\%$$



$$47500 \, \Omega = 47.5 \, \text{k} \, \Omega \pm 2\%$$

	Noir	0
	Maron	1
	Rouge	2
	Orange	3
	jaune	4
	Vert	5
	Bleu	6
	Violet	7
	Gris	8
	Blanc	9

Exemples

	Noir	0
	Maron	1
	Rouge	2
	Orange	3
	jaune	4
	Vert	5
	Bleu	6
	Violet	7
	Gris	8
	Blanc	9



$$\dots\dots\dots \Omega = \dots\dots\dots k \Omega \pm \%$$

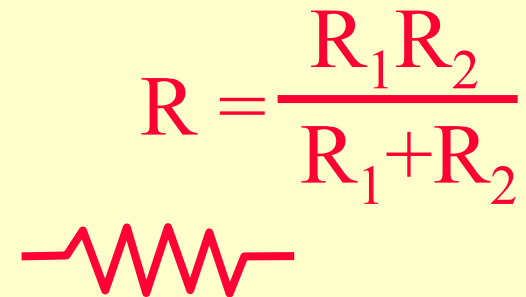
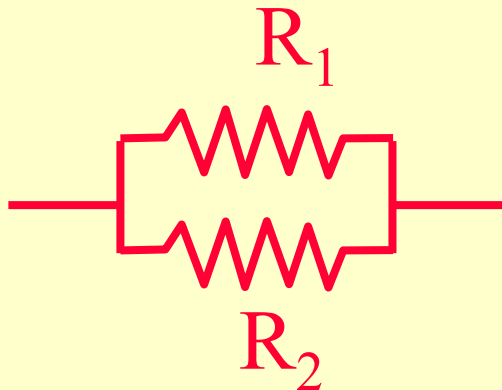
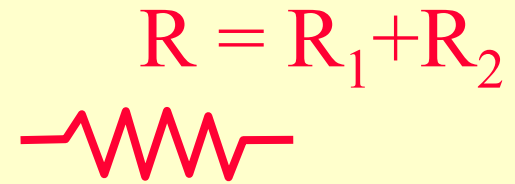


$$\dots\dots\dots \Omega = \dots\dots\dots k \Omega \pm \%$$

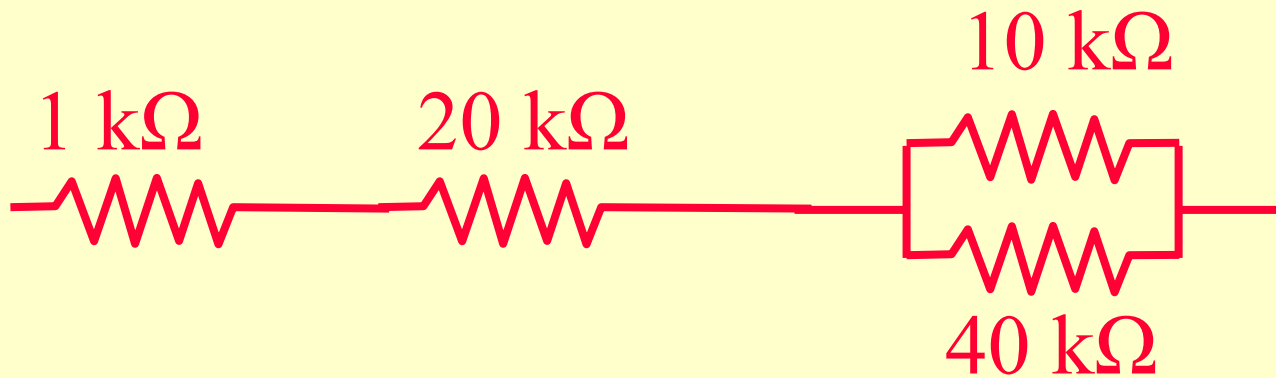


$$\dots\dots\dots \Omega = \dots\dots\dots k \Omega \pm \%$$

Association des résistances



Exemple



$R = \dots\dots\dots \text{ k}\Omega$

Les tensions s'ajoutent comme des vecteurs

$$V_1 = R_1 I_1$$

$$V_2 = R_2 I_1$$

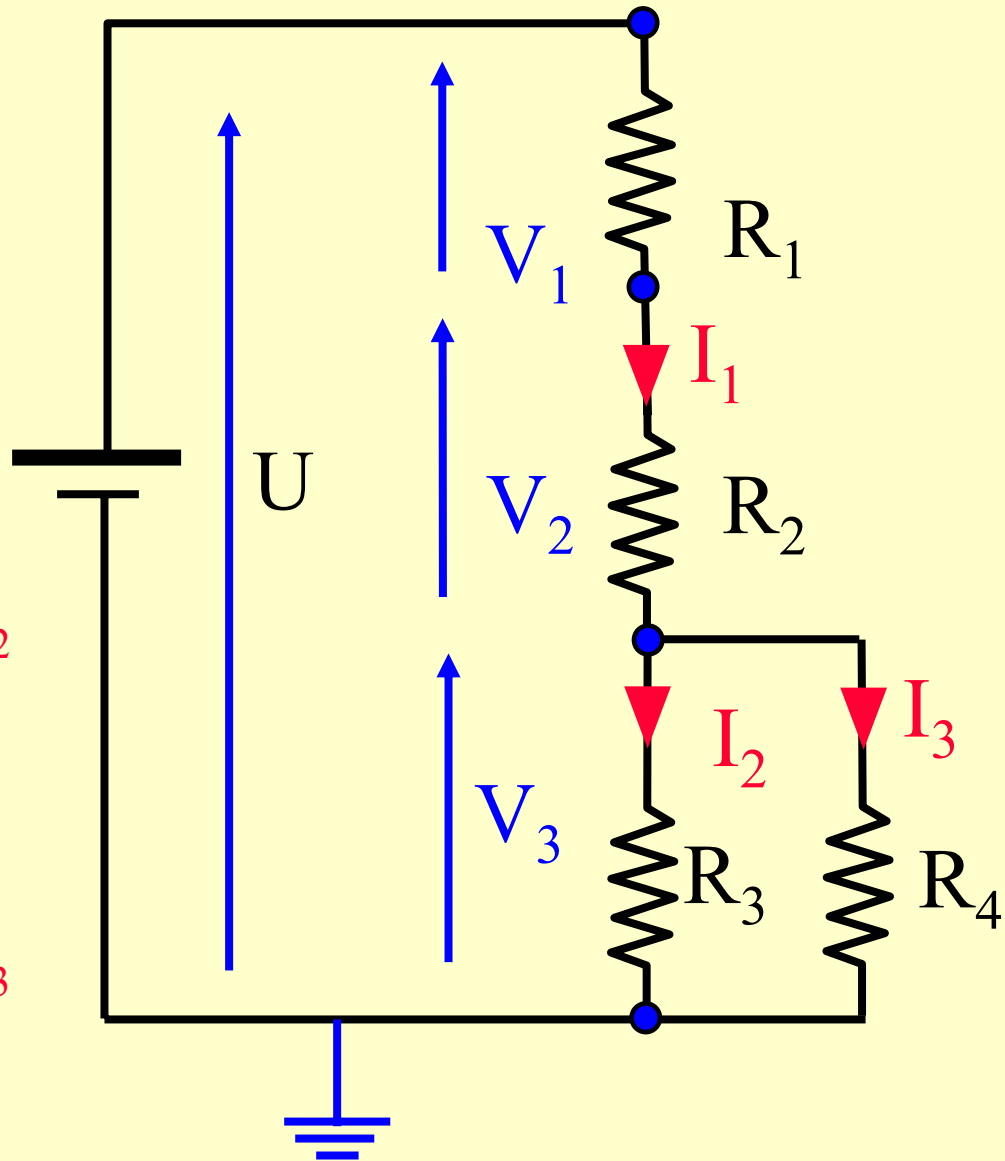
$$V_3 = R_3 I_2 = R_4 I_3$$

$$U = V_1 + V_2 + V_3$$

$$U = R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 I_2$$

Ou

$$U = R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_4 I_3$$



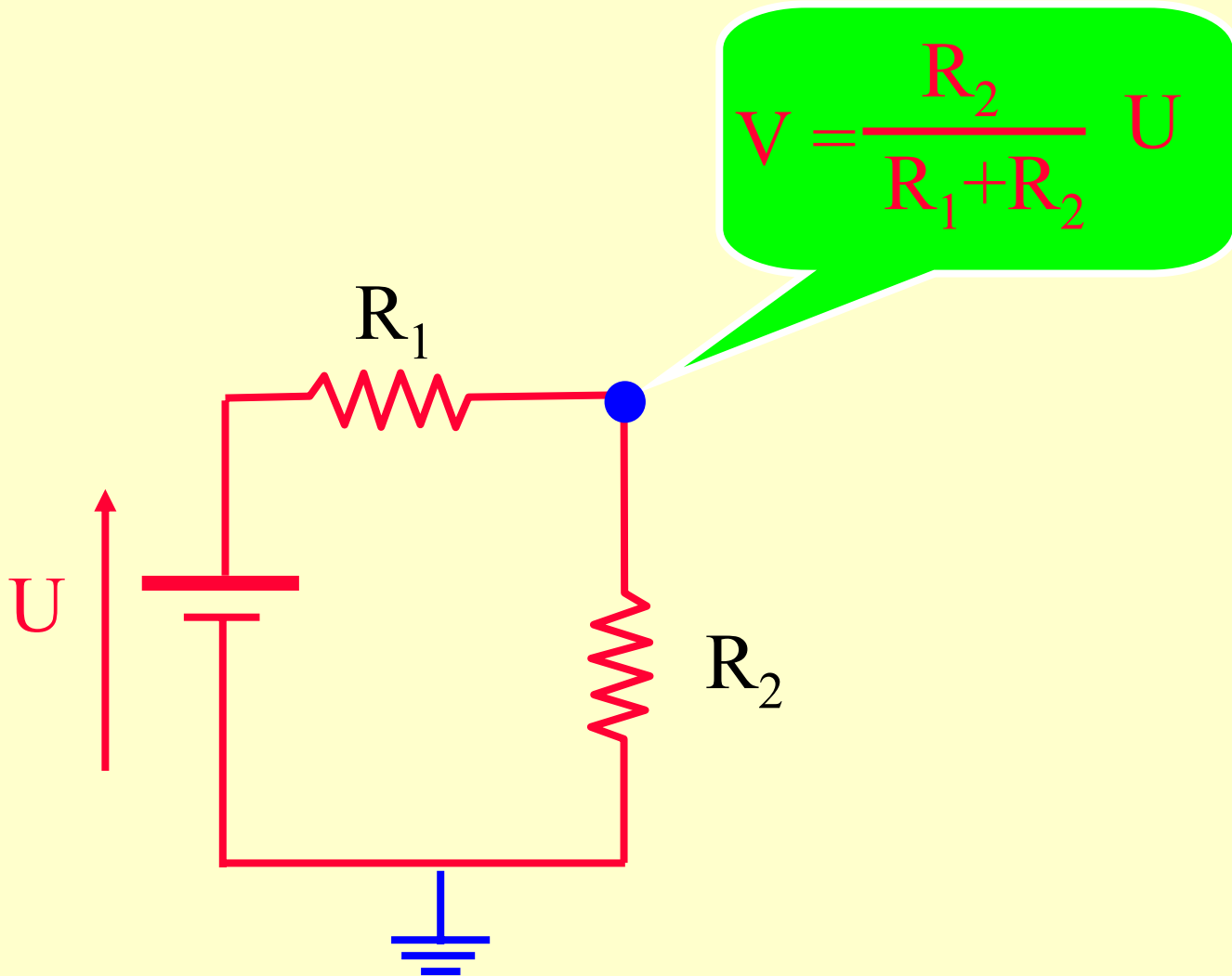
Puissance

Un composant ayant une tension U à ses bornes et qui est traversé par un courant I dissipe une puissance P

$$\boxed{P = U I} \left\{ \begin{array}{l} \bullet U \text{ en Volt (V)} \\ \bullet I \text{ en Ampère (A)} \\ \bullet P \text{ en Watt (W)} \end{array} \right.$$

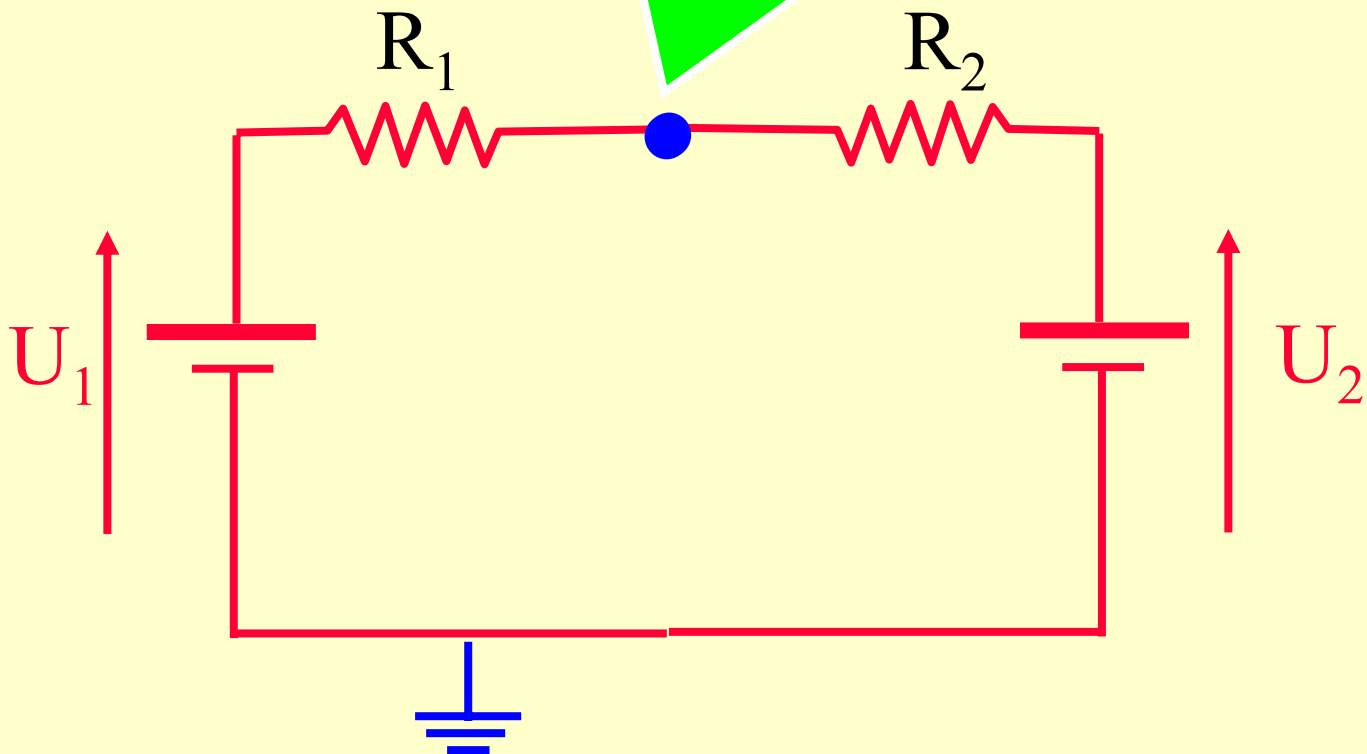
Pour une résistance :
$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Diviseur de potentiel 1



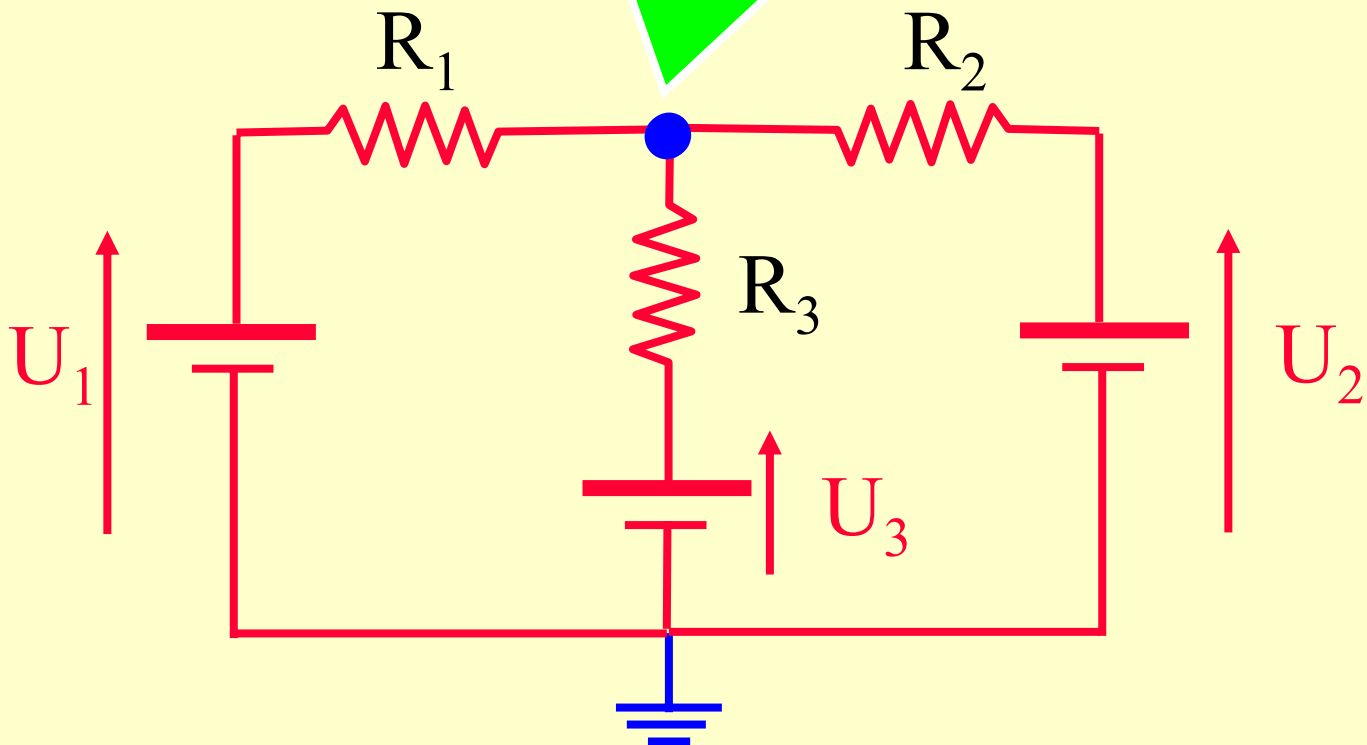
Diviseur de potentiel 2

$$V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_2$$



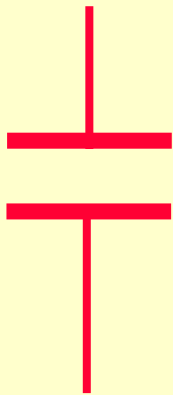
Diviseur de potentiel 3

$$V = \frac{\frac{1}{R_1}U_1 + \frac{1}{R_2}U_2 + \frac{1}{R_3}U_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

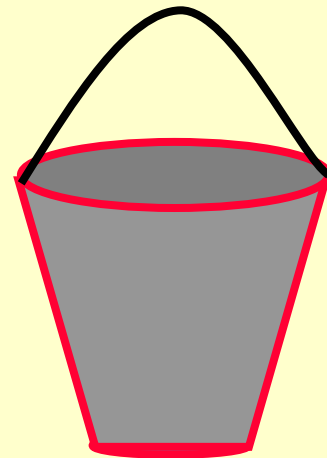


Condensateur

Le condensateur est un composant passif qui trouve de multiples Applications en électronique. Pour simplifier on peut le considérer comme un réservoir dont la capacité C s'exprime en Farad (F)

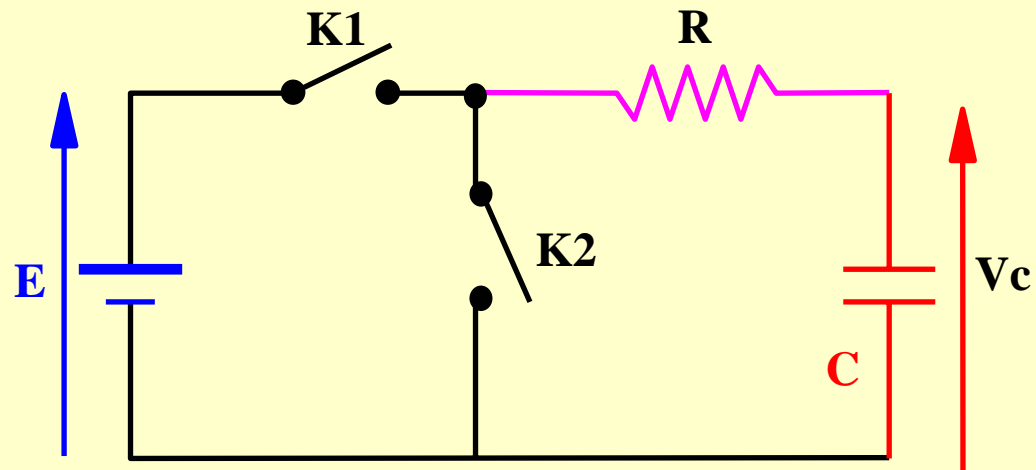


Condensateur

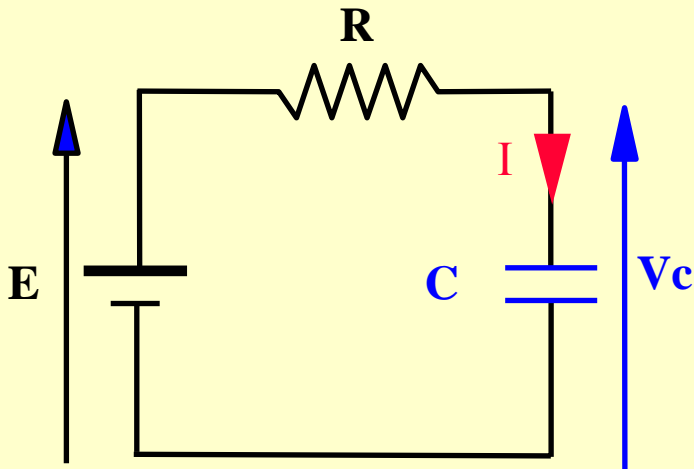


Réservoir

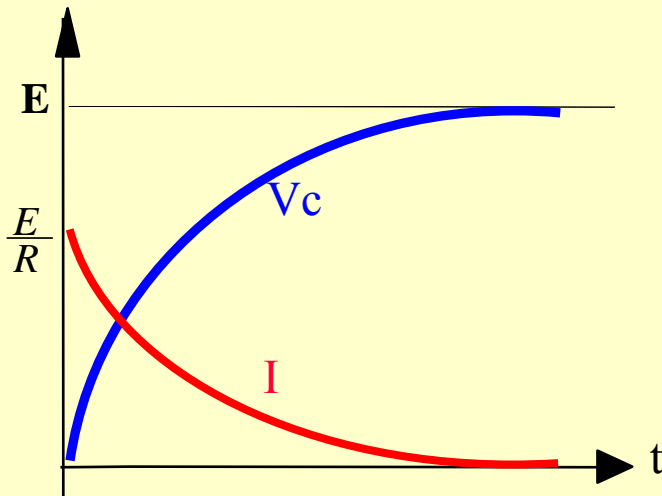
Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance



Charge : K1 fermé K2 ouvert

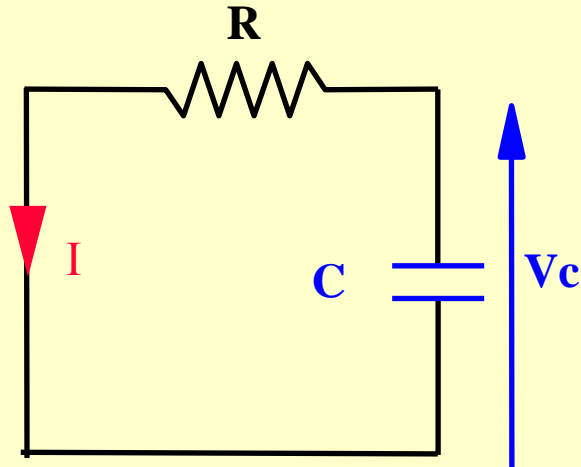


- Au début
 - Courant important
 - Charge rapide
- Vers la fin
 - Courant tend vers 0
 - V_c tend vers E



$$V_C = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Décharge : K2 fermé K1 ouvert

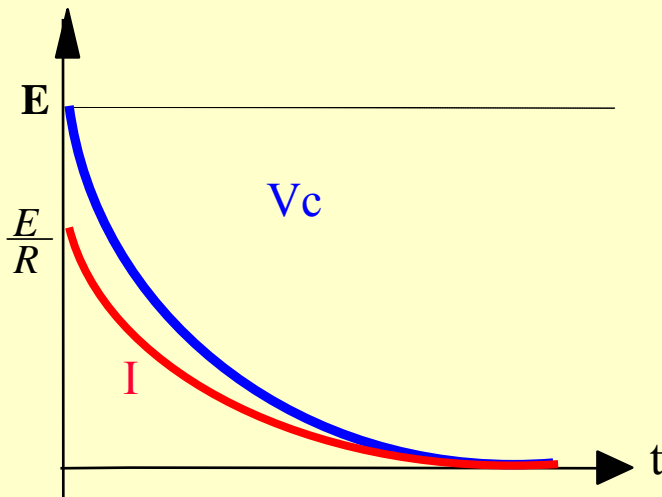


- Au début

- Courant important
- Décharge rapide

- Vers la fin

- V_c tend vers 0
- Le courant tend vers 0

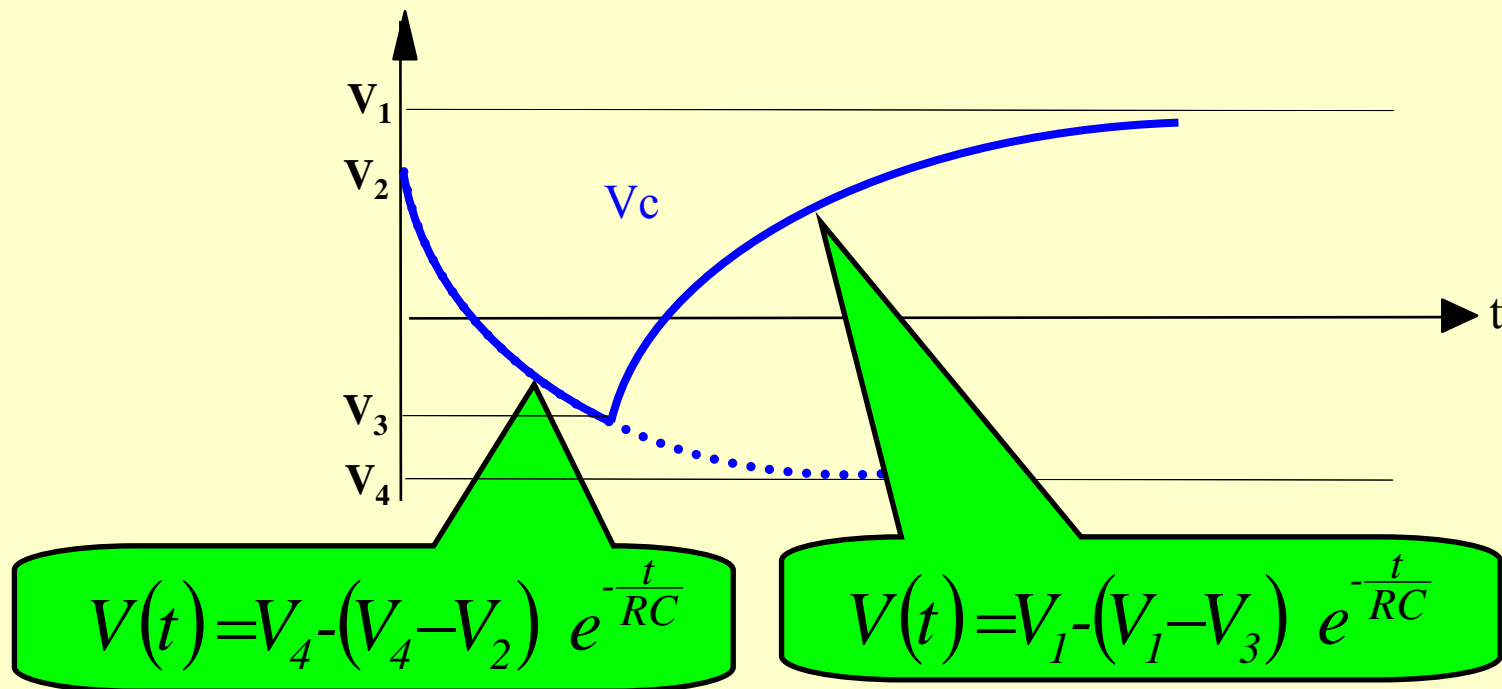


$$V_C = E e^{-\frac{t}{RC}}$$

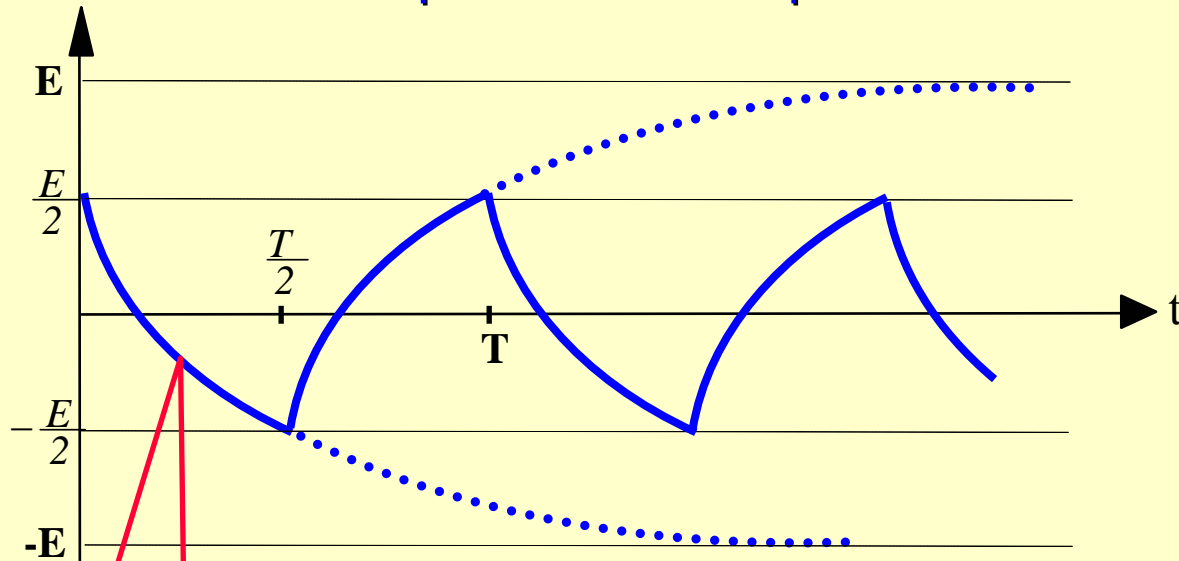
En général

On place l'origine des temps au début de la courbe qui nous intéresse et on utilise la relation :

$$V(t) = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_0) e^{-\frac{t}{RC}}$$



Exemple : calculer la période T

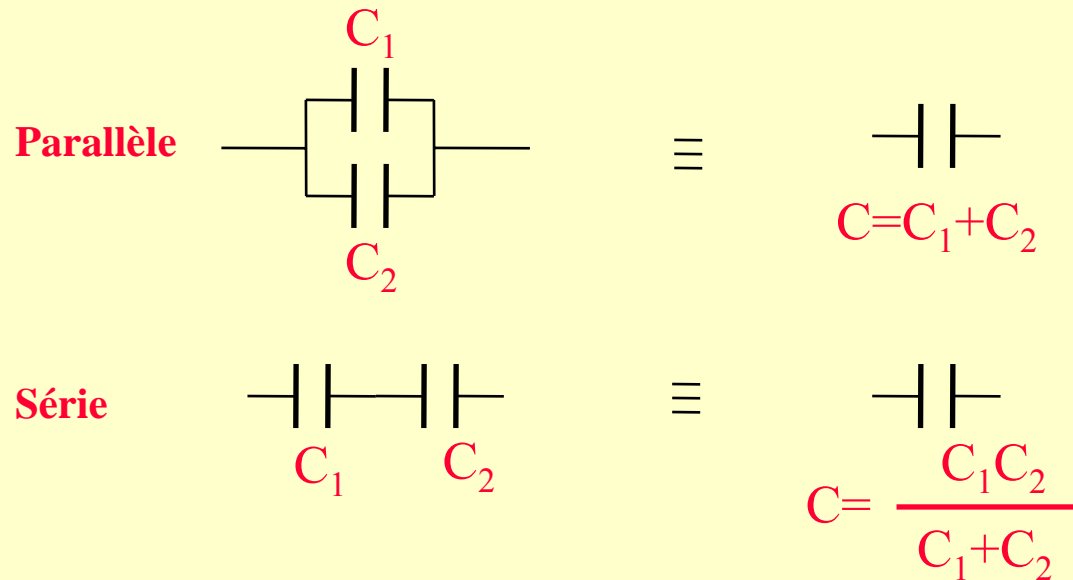


$$V(t) = -E - \left(-E - \frac{E}{2}\right) e^{-\frac{t}{RC}} = E \left(\frac{3}{2} e^{-\frac{t}{RC}} - 1 \right)$$

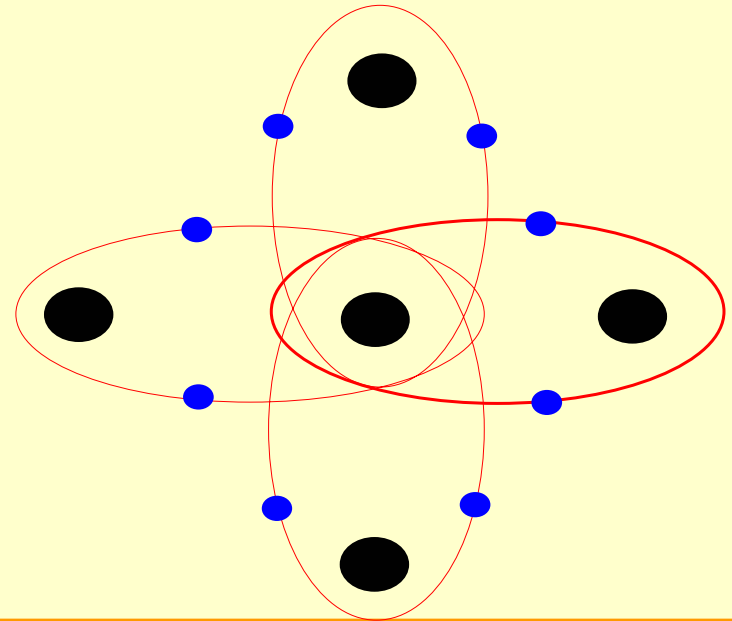
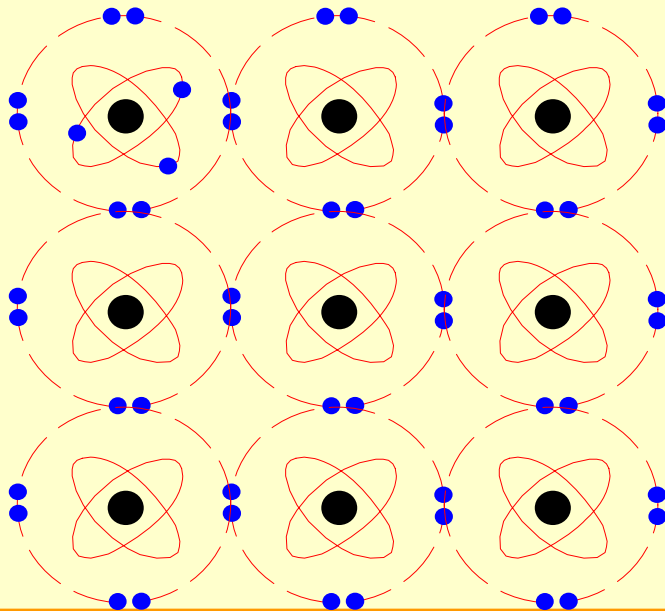
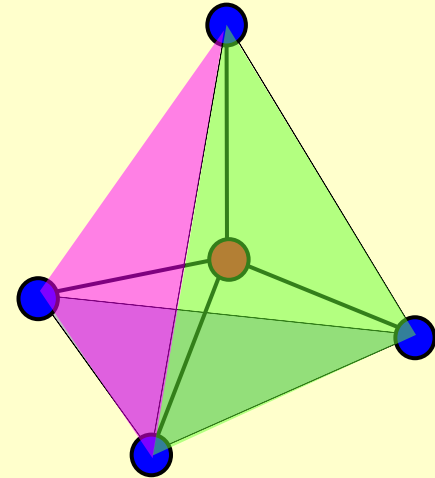
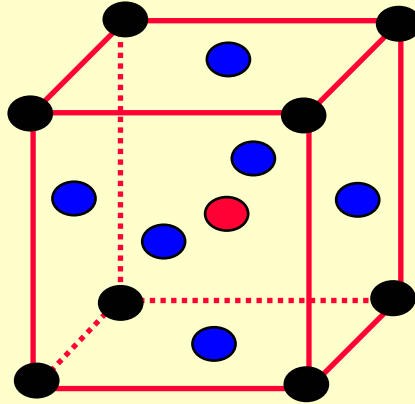
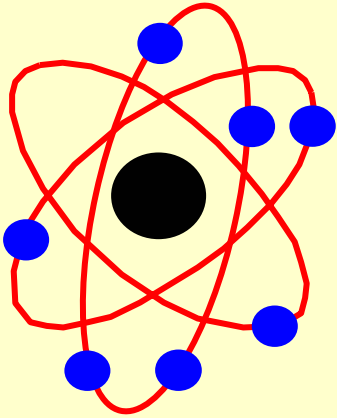
$$V\left(\frac{T}{2}\right) = -\frac{E}{2} \quad \longrightarrow \quad E \left(\frac{3}{2} e^{-\frac{T}{2RC}} - 1 \right) = -\frac{E}{2}$$

$$T = 2RC \operatorname{Log}(3)$$

Association de condensateurs



Conducteur et semi conducteurs



Niveaux d'énergie des électrons

Dans un solide on trouve trois catégories d'électrons :

- Les électrons des couches inférieures

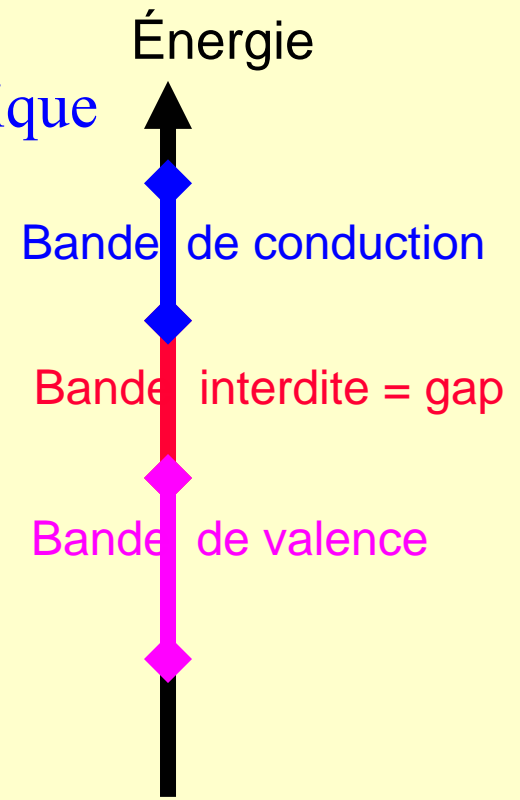
- fortement liés à leurs noyaux
- Pas beaucoup d'intérêt pour l'électronique

- Les électrons de valence

- Gravitent autour de deux noyaux
- Énergie dans la bande de valence

- Les électrons libre

- Se déplace librement dans le cristal
- Énergie dans la bande de conduction



Conducteur

- Les Bandes de conduction et de valence se chevauchent, il n'y a pas de gap
- L'agitation thermique suffit largement pour libérer les électrons (amener leur énergie dans la bande de conduction)
- Chaque atome libère au moins un électron
- Nombre très important d'électrons libres
- Le branchement d'un générateur de tension produit un champs électrique qui attire les électrons produisant un courant important

Les isolants

- Les Bandes de conduction et de valence sont séparée par un gap très important
- L'agitation thermique même à température élevée ne parvient pas à libérer les électrons.
- Aucun électron libre
- Le branchement d'un générateur ne produit aucun courant

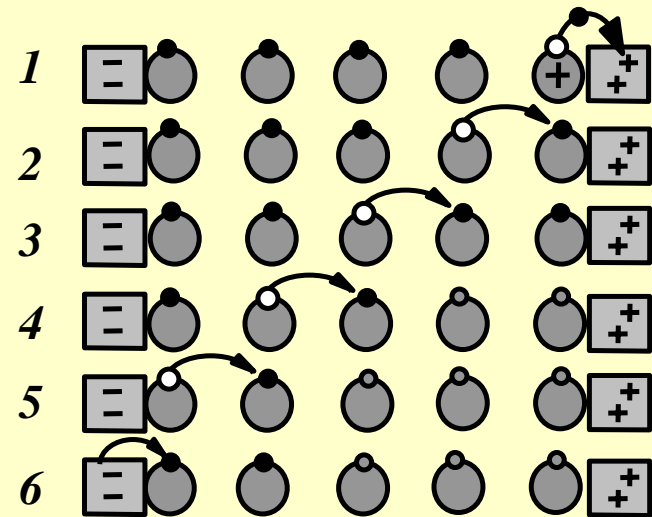
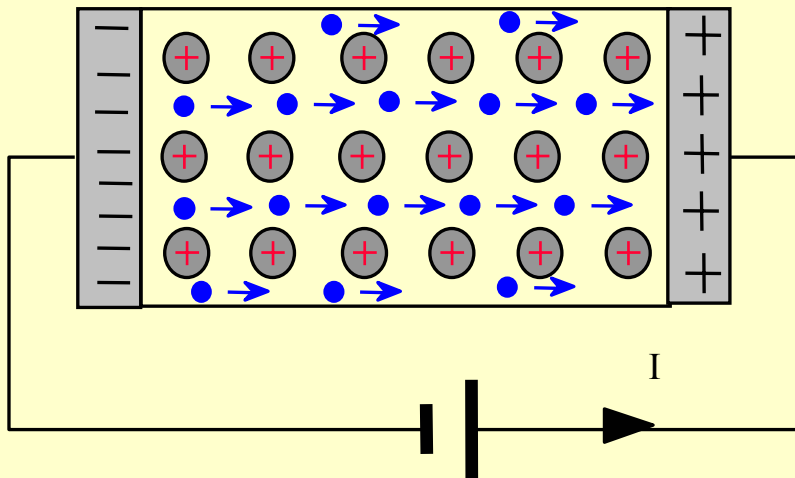
Les semi-conducteurs (intrinsèques)

- Constitués de matériaux tétravalent purs comme le silicium ou le germanium (4 électrons de valence)
- Le gap a une largeur relativement faible (1 eV)
- A très basse température (0°K), les SC intrinsèques sont parfaitement isolants.
- L'agitation thermique à la température ambiante suffit pour libérer un nombre d'électrons relativement important
- La conductivité d'un SC dépend donc fortement de la température.
- Un atome qui perd un électron devient un ion positif. Le manque d'électron est désigné par trou.

Les Deux types de conduction

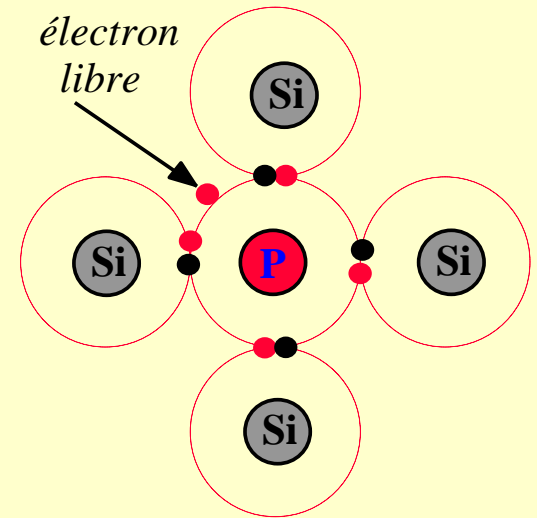
Conduction = déplacement d'une charge électrique

- Conduction par électrons libre (charge négative)
- Conduction par trou : un trou (charge positive) peut se déplacer provoquant un courant
- La conduction par trou est plus lente que la conduction par électrons libres



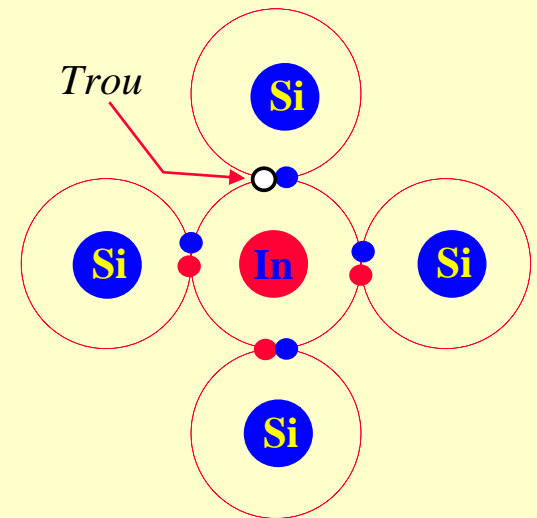
SC Extrinsèque de type N

- On introduit un matériau pentavalent (donneur) avec 5 électrons sur la couche de valence comme antimoine, phosphore ou arsenic
- Chaque atome introduit un électron libre sans laisser de trou
- Le nombre d'électrons est bien plus important que celui des trous. Ce sont les porteurs majoritaires
- La conduction est essentiellement une conduction d'électrons



SC extrinsèque de type P

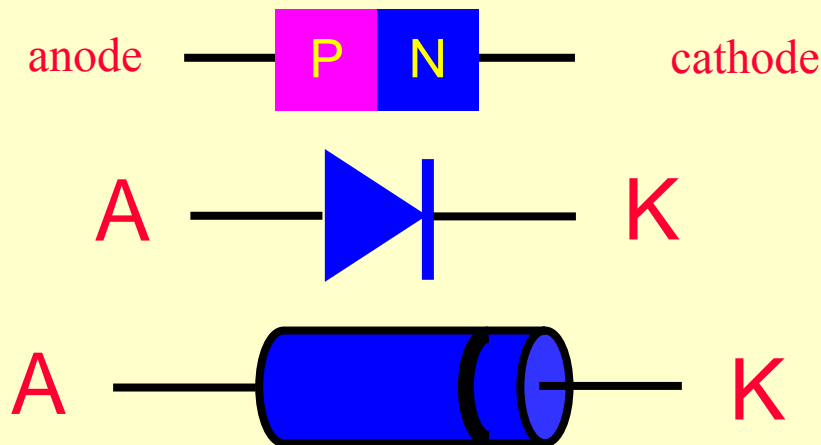
- On introduit un matériau (accepteur) avec 3 électrons sur la couche de valence comme le bore, l'aluminium, le gallium ou l'indium
- Chaque atome introduit un trou sans libérer d'électron
- Le nombre de trou est bien plus important que celui des électrons. Ce sont les porteur majoritaires
- La conduction est essentiellement une conduction de trou



La diode

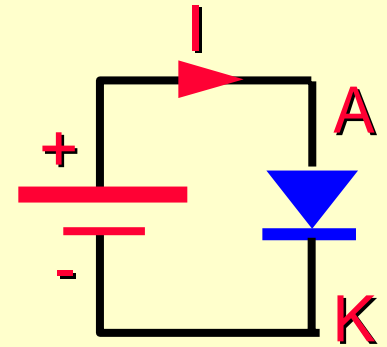
La diode est un composant qui ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens

Elle est réalisée à l'aide d'une jonction PN obtenue en collant un SC (N) à un SC (P) d'où l'appellation diode à Jonction

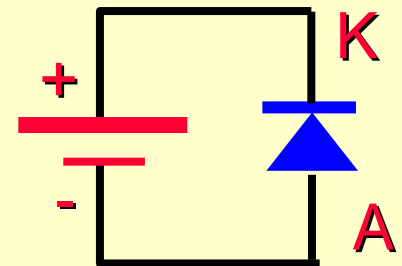


Polarisation de la diode

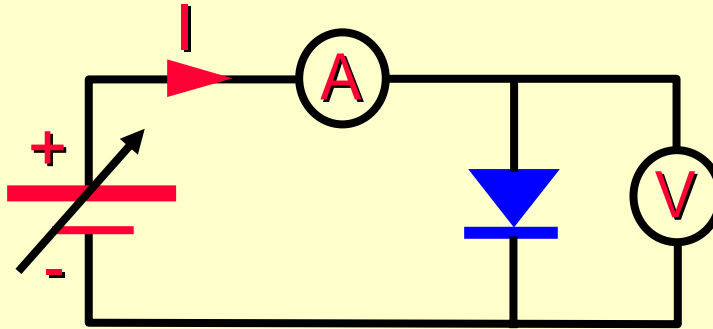
Une diode est polarisée en **directe** si on applique une alimentation avec (+ sur A) et (- sur K), la diode est alors **passante ou conductrice**



Une diode est polarisée en **inverse** si on applique une alimentation avec (+ sur K) et (- sur A), la diode est alors **bloquée, aucun courant ne la traverse**



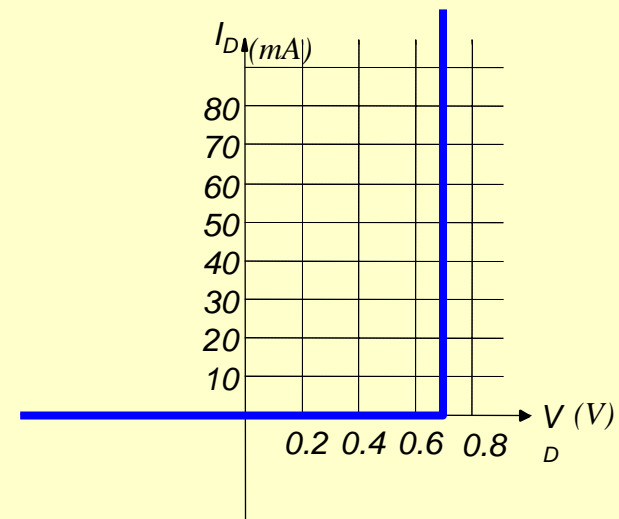
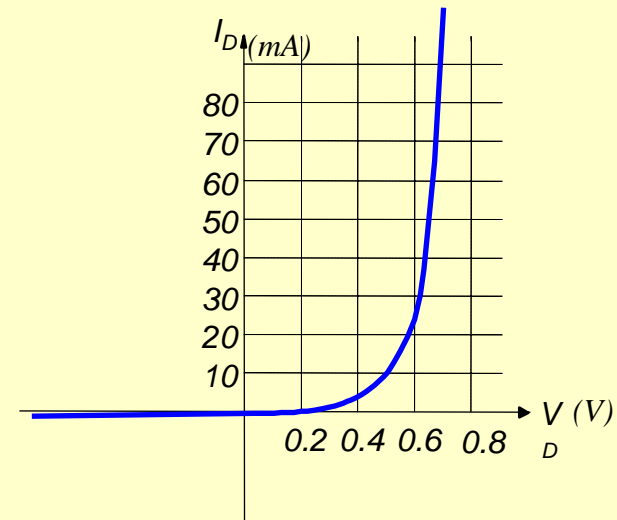
Caractéristique de la diode



La diode a un seuil de conduction. Elle commence à conduire doucement vers V_D de l'ordre de $0.3V$. Elle est franchement conductrice quand V_D est de l'ordre de $0.7V$

Pour faciliter, on adopte une caractéristique idéalisée :

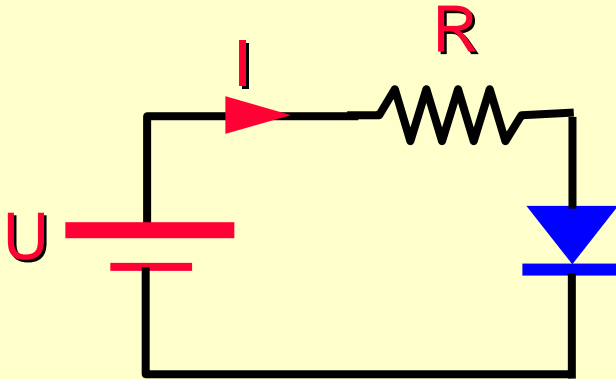
- $V_D < 0.7 V \Rightarrow$ diode Bloquée
- $V_D = 0.7 V \Rightarrow$ diode conductrice
- Le courant doit être limité avec une résistance externe



Comment calculer ?

Diode conductrice = tension de 0.7V

Diode bloquée = interrupteur ouvert



$$U = 15 \text{ V}$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

Calculer I et la tension aux bornes de R

$$U = RI + V_D$$

$$I = \frac{U - V_D}{R} = \frac{15 - 0.7}{1000} = 14.3 \text{ mA}$$

$$V_R = RI = 1000 \Omega \times 14.3 \text{ mA} = 14.3 \text{ V}$$

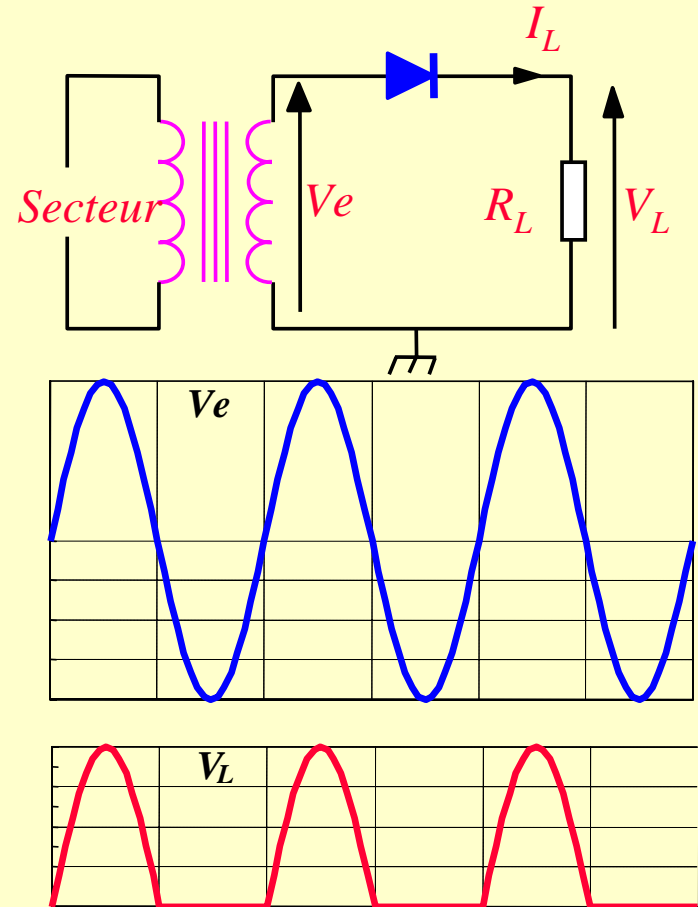
$$\text{ou } U = V_R + V_D \Rightarrow V_R = U - V_D = 15 - 0.7 = 14.3 \text{ V}$$

Redressement mono alternance

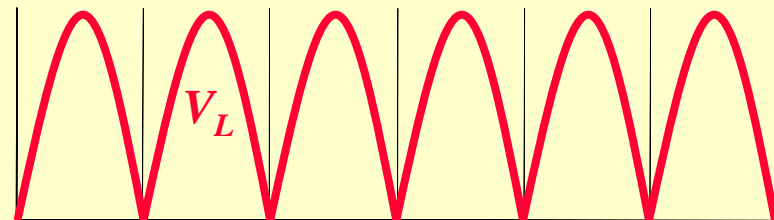
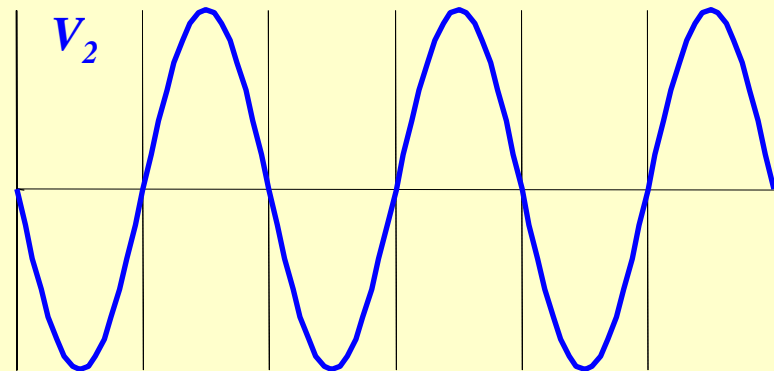
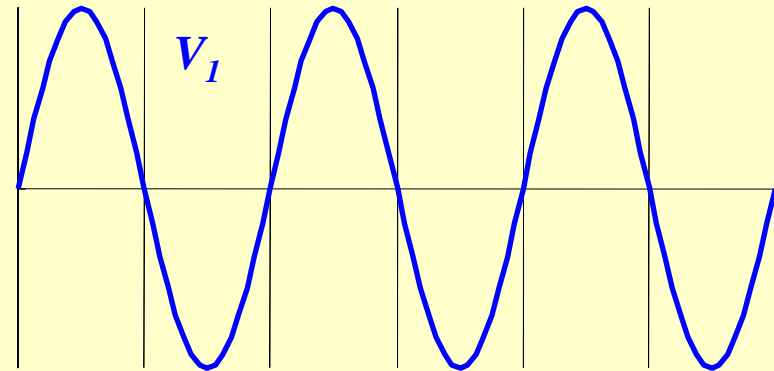
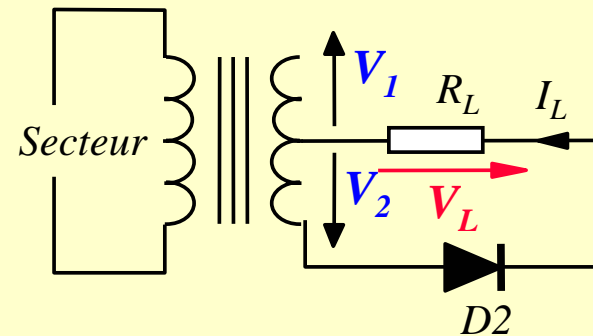
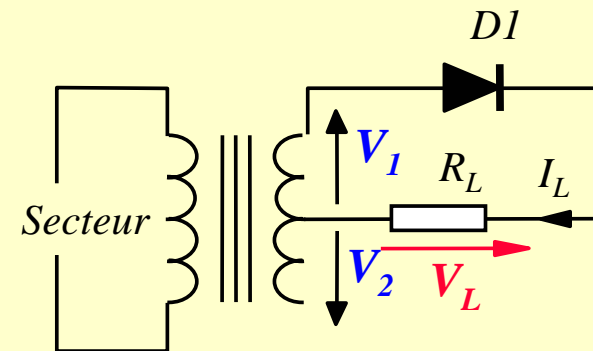
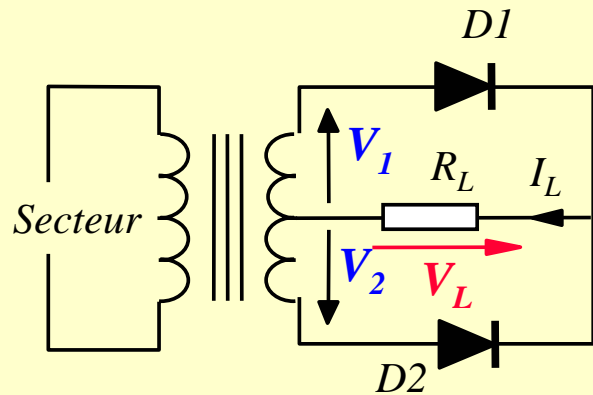
L'objectif est de partir de la tension alternative issue du secteur pour obtenir une tension continue
Permettant d'alimenter les circuit électroniques

$V_e > 0 \Rightarrow$ diode conductrice
 \Rightarrow interrupteur fermé
 $\Rightarrow V_L = V_e$
 $V_e < 0 \Rightarrow$ diode bloquée
 \Rightarrow interrupteur ouvert
 $\Rightarrow V_L = 0$

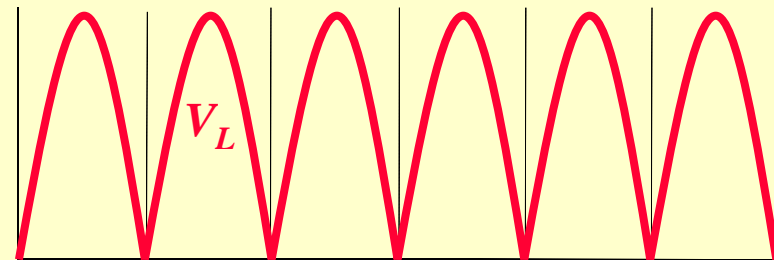
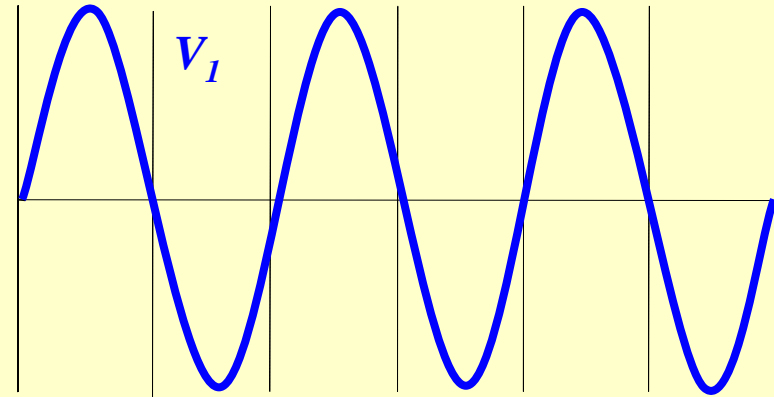
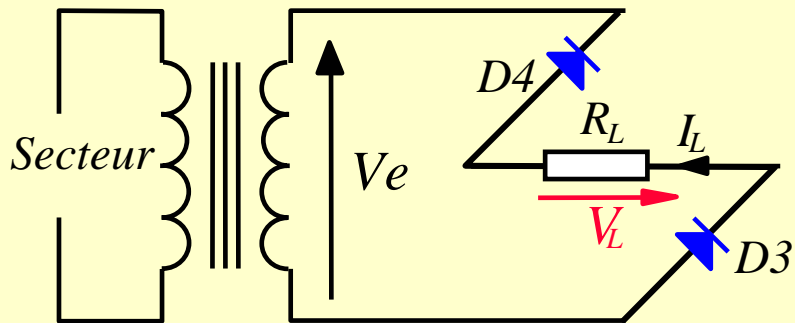
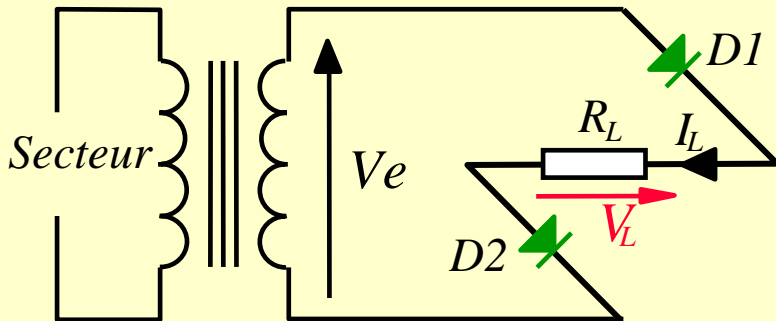
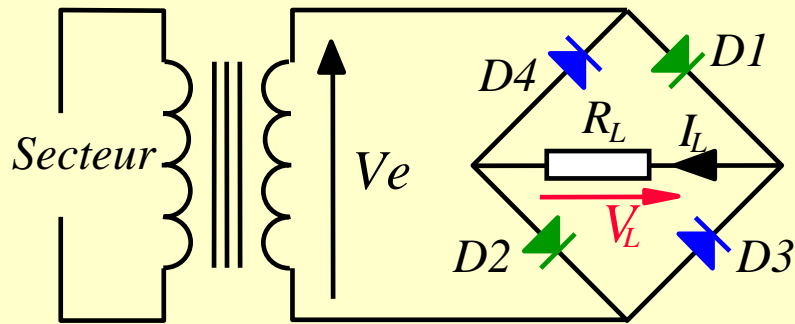
$$\begin{aligned}\bar{V}_L &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi E \sin(\theta) d\theta \\ &= \frac{E}{2\pi} [-\cos(\theta)]_0^\pi = \frac{E}{\pi}\end{aligned}$$



double alternance – transfo 3 fils

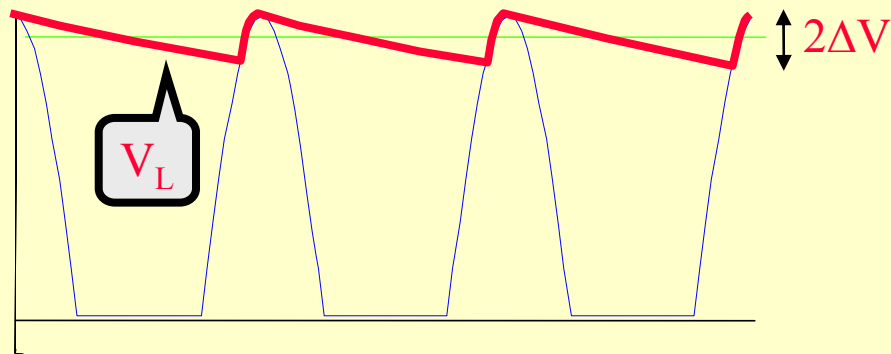
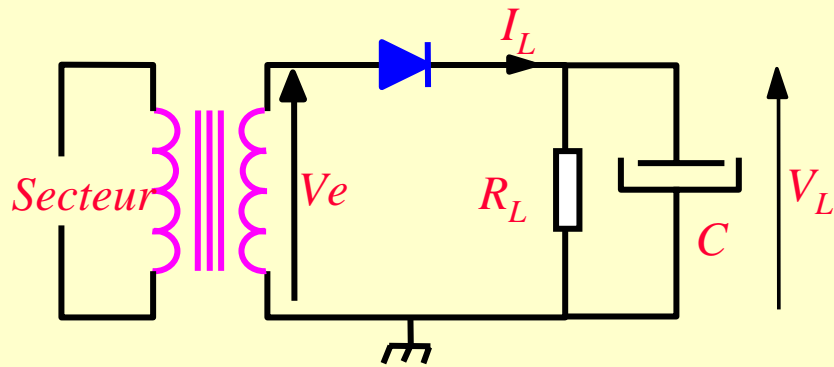


double alternance – transfo 2 fils

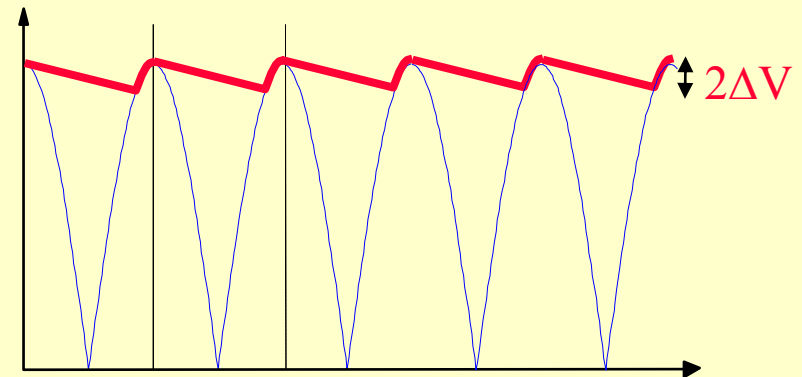
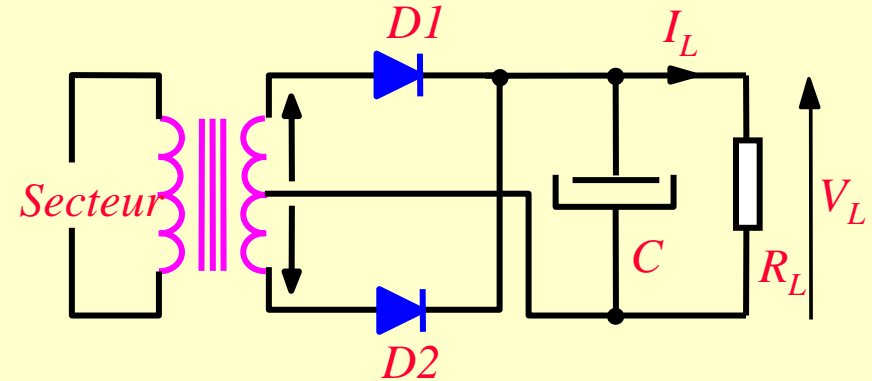


$$\begin{aligned}\bar{V}_L &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E \sin(\theta) d\theta \\ &= \frac{E}{\pi} [-\cos(\theta)]_0^{\pi} = \frac{2E}{\pi}\end{aligned}$$

Filtrage par condensateur en tête



Ondulation $\Delta V = \frac{E}{2R_L C f} \approx \frac{I_L}{2C f}$



$$\Delta V = \frac{E}{4R_L C f} \approx \frac{I_L}{4C f}$$

Position du problème

On désire réaliser une alimentation 6V, 100 mA, $\Delta V=0.2V$. Il faut choisir le transfo et le condensateur

Avec un double alternance on obtient $C=1250 \mu F$

On prend $C= 2200 \mu F$, cela compensera un peu les effets non pris en compte.

Avec un transfo à point milieu on a :

$V_{max} = \text{tension désirée} + \Delta V + V_D = 6+0.2+0.7 \approx 7V$

Avec un pont : $V_{max} = 6+0.2+0.7+0.7 \approx 7.6V$

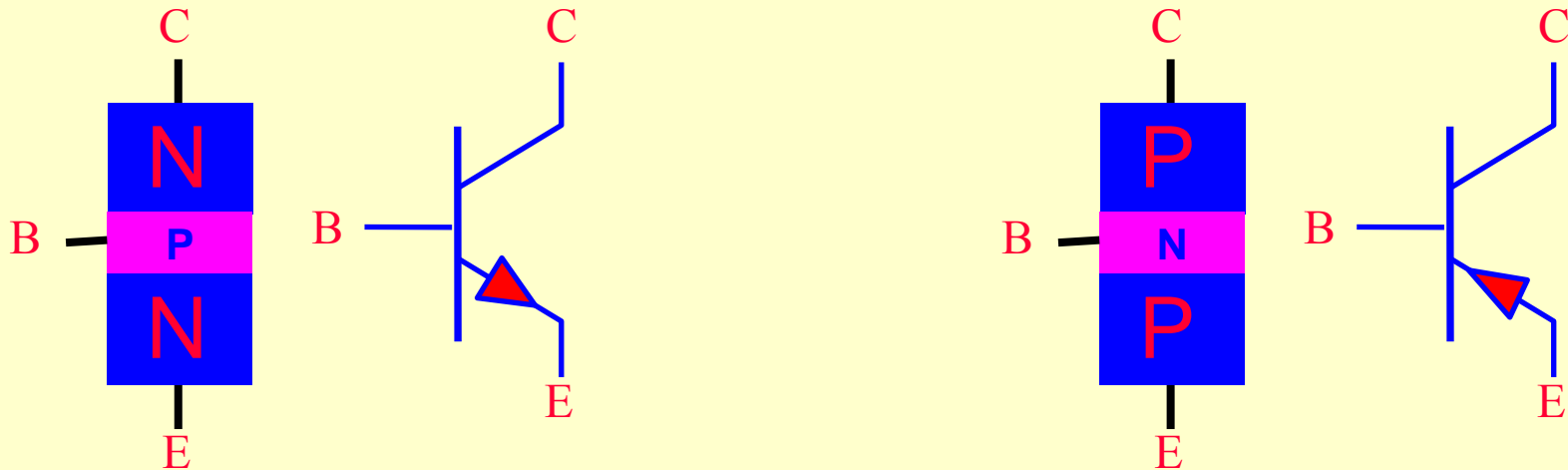
$V_{eff} = 7 / \sqrt{2} = 5V$ ou $7.6 / \sqrt{2} = 5.37V$

L'expérience montre que les transfo du commerce ne sont pas de très grande qualité, "*dès qu'on les charge il se casse la gueule*"

On prendra donc un transfo $2 \times 6V$, (200 mA ou +)

Le transistor à jonction

Le transistor est constitué de 3 couches de semi-conducteurs. On distingue les transistor NPN et les transistor PNP



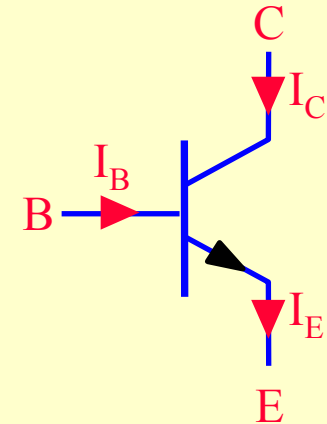
Il a trois bornes:

- La **base** traversée par le courant I_B , est le plus souvent utilisée comme l'entrée de commande
- Le **collecteur**, traversé par le courant I_C , est le plus souvent utilisé comme de sortie
- L'**émetteur** traversé par le courant I_E , est le plus souvent utilisé comme référence

Caractéristique du transistor

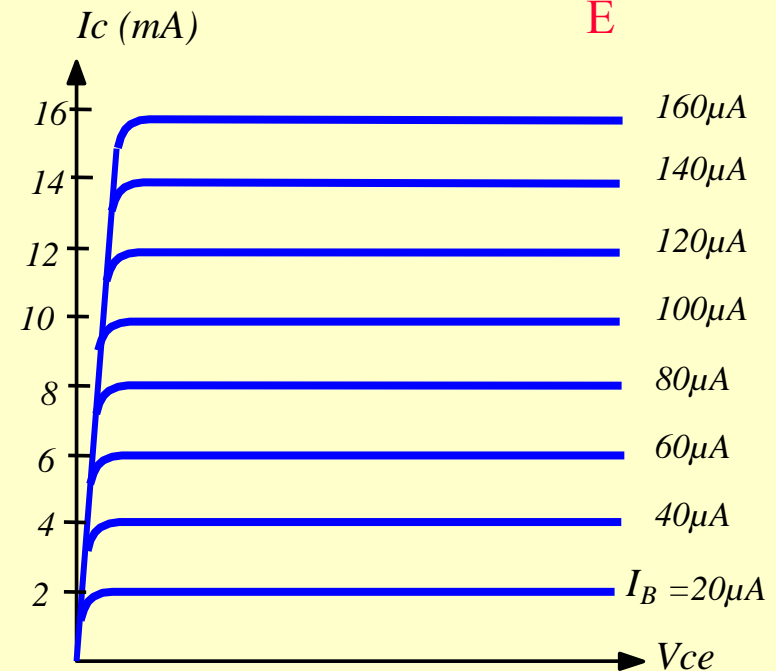
Le transistor est un amplificateur de courant, il est caractérisé par la relation fondamentale :

$$I_C = \beta I_B$$



On constate aussi :

- $I_E = I_C + I_B$
- La jonction (diode) base-émetteur détermine l'état du transistor, quand elle conduit il conduit, et on a $V_{BE}=0.7V$
- La tension V_{CE} est imposée par le circuit extérieur
- La jonction base-collecteur fonctionne en inverse à cause de l'effet transistor, "il vaut mieux l'oublier"



Polarisation du transistor

Polariser le transistor c'est le faire conduire à l'aide d'une alimentation continue et un circuit de polarisation pour le mettre dans un état donné par (I_B , I_C , V_{CE})

Polarisation par une résistance de base

- On détermine le courant I_B en écrivant la loi d'ohm dans la maille d'entrée

$$V_{CC} = R_B I_B + 0.7 + R_E I_E$$

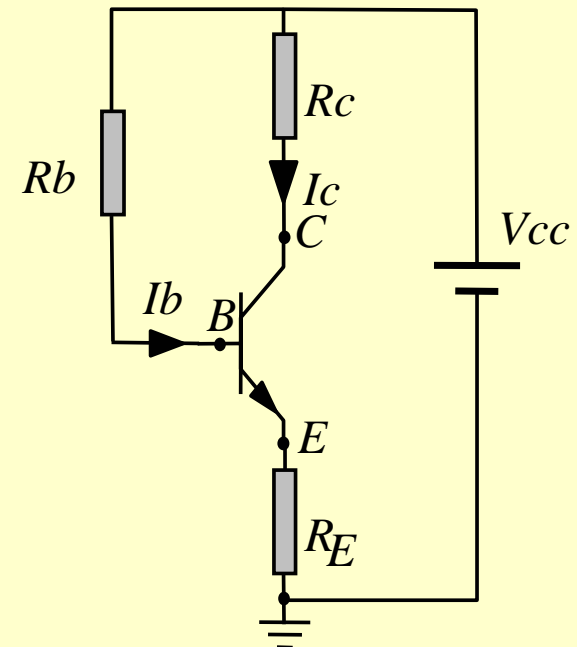
β est en général > 100 , $I_C \approx I_E$

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B + \beta R_E}$$

- I_C en découle puisque $I_C = \beta I_B$
- La tension V_{CE} est déterminée en écrivant la loi d'ohm dans la maille de sortie

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \quad (I_C \approx I_E)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$



Polarisation par une résistance de base : Exemple 1

Calculer I_B , I_C , V_{CE} , V_E , V_B

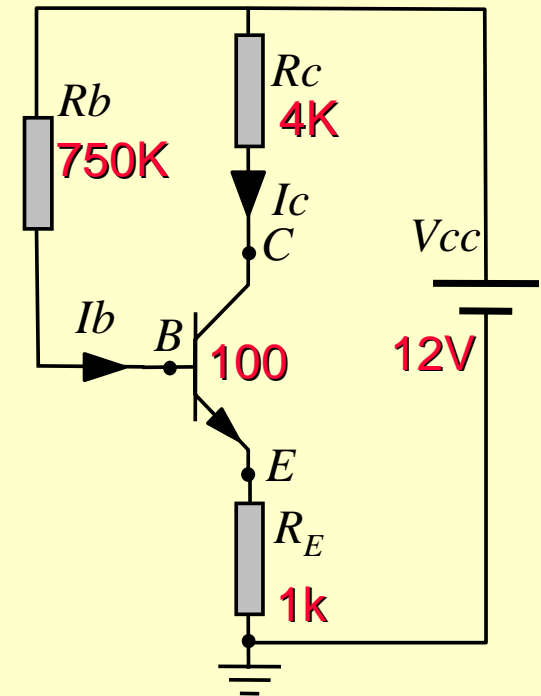
$$I_B = \frac{12V - 0.7V}{750K + 100 \times 1K} = \frac{11.3V}{850K} = 13.3 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 13.3 \mu A = 1.33 mA$$

$$V_{CE} = 12V - (4K + 1K) \times 1.33 mA = 5.35V$$

$$V_E = R_E I_C = 1K \times 1.33 mA = 1.33V$$

$$V_B = V_E + 0.7V = 1.33V + 0.7V \approx 2V$$



Polarisation par résistance de base : exemple 2

Calculer les résistances pour avoir $V_E=2V$, $I_C=1mA$, $V_{CE}=5V$

$$V_E = R_E I_C \Rightarrow R_E = \frac{2V}{1mA} = 2K$$

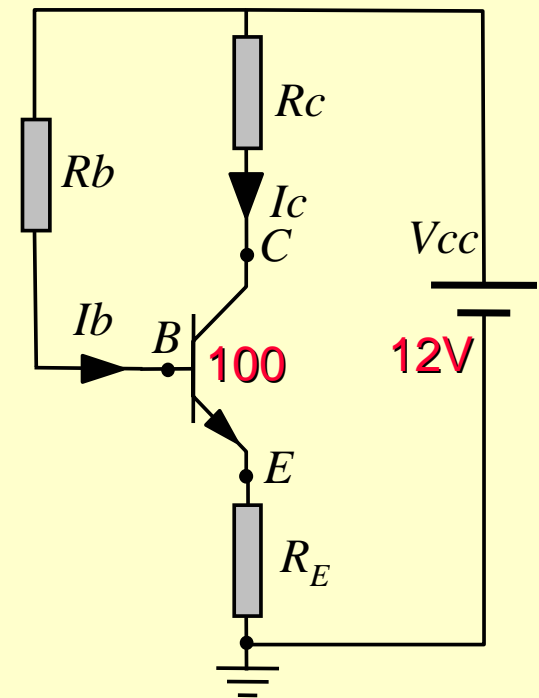
$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + V_E$$

$$\Rightarrow R_C I_C = 12 - 5 - 2 = 5V$$

$$\Rightarrow R_C = \frac{5V}{1mA} = 5K$$

$$V_{CC} - V_B = R_B I_B$$

$$R_B = \frac{12 - 2.7}{0.01mA} = 930K$$



Polarisation par pont

Pour faciliter le calcul, R_{B1} et R_{B2} sont choisies de sorte que I_1 soit au moins 10 fois $>$ à I_B ce qui permet de négliger I_B et d'écrire $I_1 = I_2 = I_P$ et de considérer que V_B ne dépend que de R_{B1} et R_{B2}

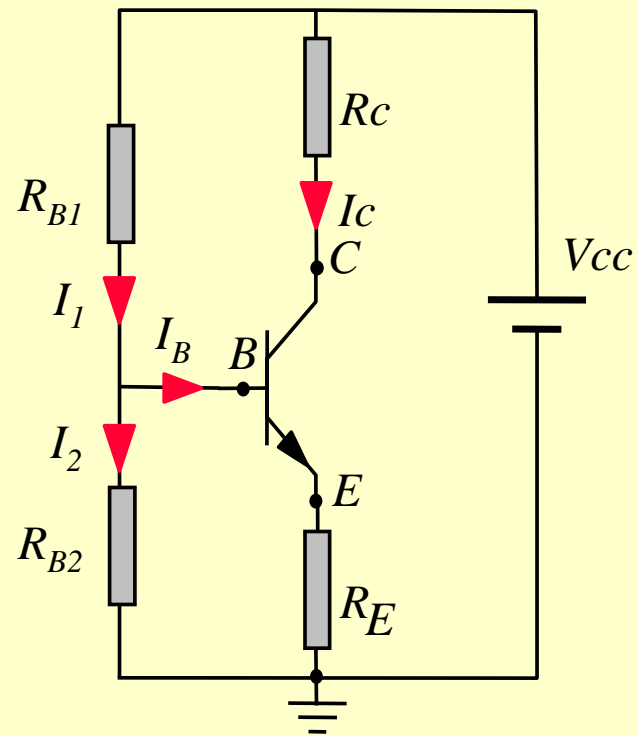
$$V_B \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$V_E \approx V_B - 0.7V$$

$$V_E \approx R_E I_C \Rightarrow I_C \text{ et } I_B$$

$$V_{cc} \approx R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$$

$$V_{CE} \approx V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$



Polarisation par pont : exemple 1

Calculer V_B , V_E , I_C , I_B , V_{CE} , V_C

$$V_B \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{cc} = \frac{10k}{66k} \times 12V = 1.82V$$

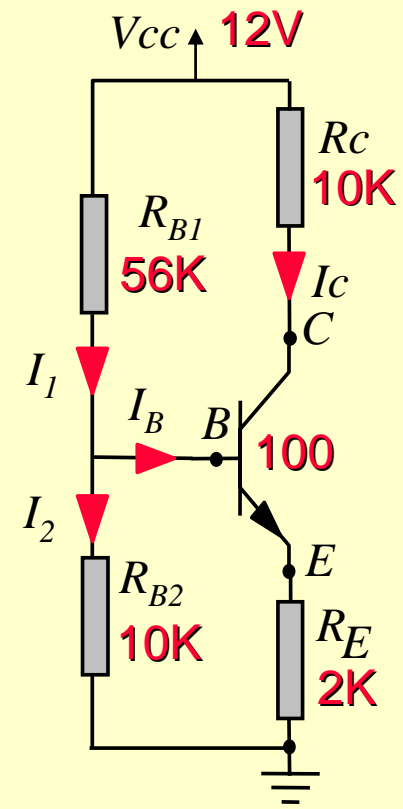
$$V_E = V_B - 0.7V = 1.82 - 0.7 = 1.12V$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.12V}{2K} = 0.56mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{560\mu A}{100} = 5.6\mu A$$

$$V_{CE} \approx V_{CC} - (R_C + R_E)I_C = 12V - 12K \times 0.56mA \approx 5.3V$$

$$V_C = V_E + V_{CE} = 1.12V + 5.28V = 6.4V$$



Polarisation par pont : Exemple 2

Calculer les résistances pour avoir :

$$V_E=2V, I_C=1mA, V_{CE}=5V, I_P = 20 \times I_B$$

$$I_P = 20 \times \frac{1mA}{100} = 0.2 mA$$

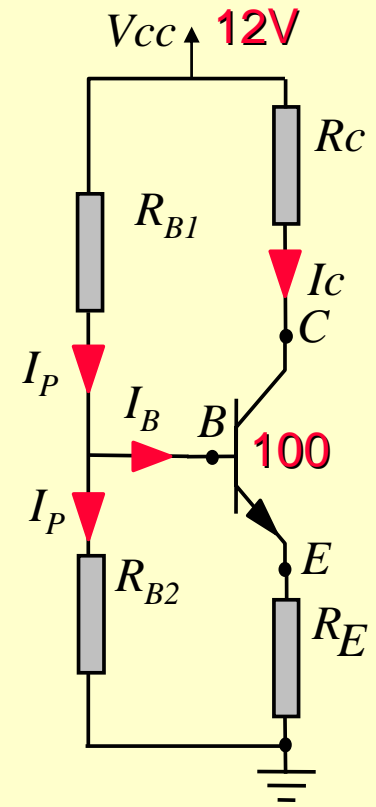
$$R_{B1} + R_{B2} = \frac{V_{CC}}{I_P} = \frac{12V}{0.2mA} = 60K$$

$$R_{B2} = \frac{V_B}{I_P} = \frac{2.7V}{0.2 mA} = 13.5 K$$

$$R_{B1} = 60K - R_{B2} = 60K - 13.5K = 46.5K$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{2V}{1mA} = 2 K$$

$$R_C = \frac{V_{cc} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{12V - 5V - 2V}{1mA} = 5 K$$



Transistor bipolaire en amplification

Le transistor étant polarisé, que se passe-t-il si on fait varier légèrement I_B autour de sa position de repos I_{B0} ?

- Si $I_B \nearrow$ alors $I_C \nearrow \beta$ fois + vite
- Si $I_B \searrow$ alors $I_C \searrow \beta$ fois + vite
- $V_{CE} = V_{cc} - (R_C + R_E) I_C$
donc si I_C varie alors V_{CE} varie
($R_C + R_E$) fois plus vite mais en opposition de phase

L'effet d'amplification apparaît donc clairement. Les variations obéissent à deux lois :

- La caractéristique du transistor : $I_C = \beta I_B$
- La loi d'Ohm dans le circuit de sortie (droite de charge)

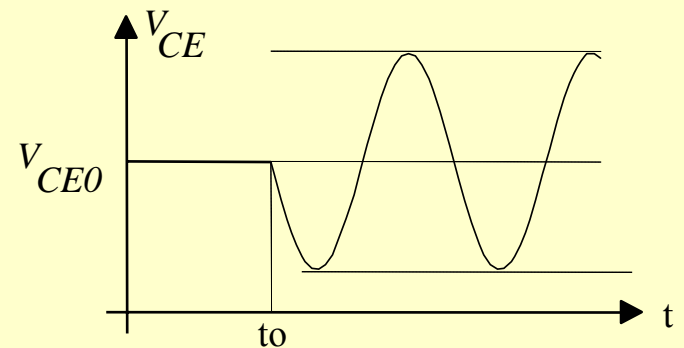
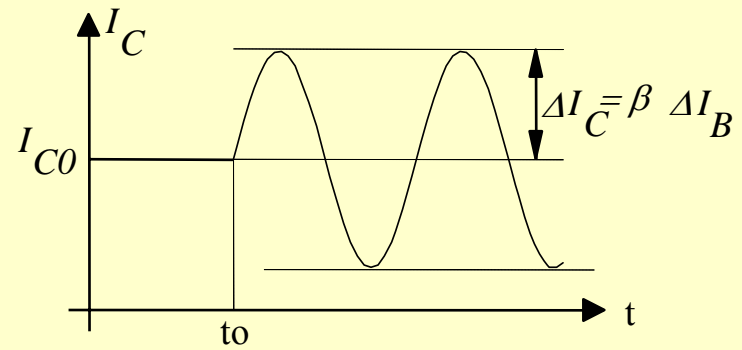
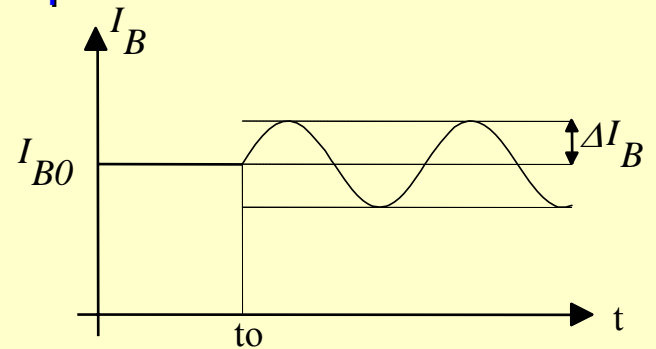
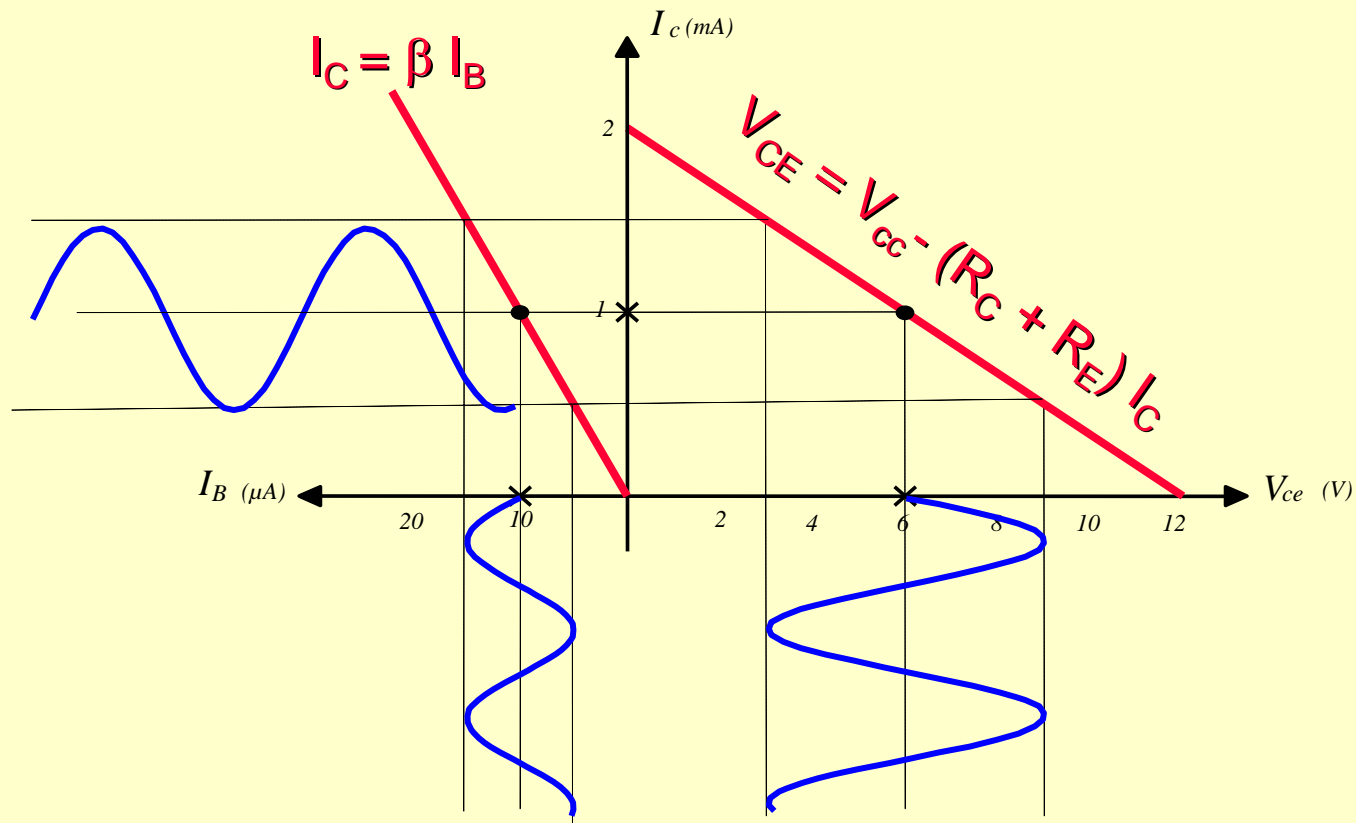


Illustration graphique de l'amplification

Illustration graphique de l'amplification du transistor bipolaire

- La droite $I_C = \beta I_B$ donne la variation de I_C en fonction de I_B
- La droite de charge $V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$ donne les variations de V_{CE} en fonction de I_C



Capacité de liaison

Pour appliquer le signal d'entrée à amplifier et prélever le signal de sortie amplifié (signaux alternatifs) sans perturber le point de fonctionnement statique du montage, on fait appel à des capacités de liaison qui laissent passer l'alternatif mais pas le continu

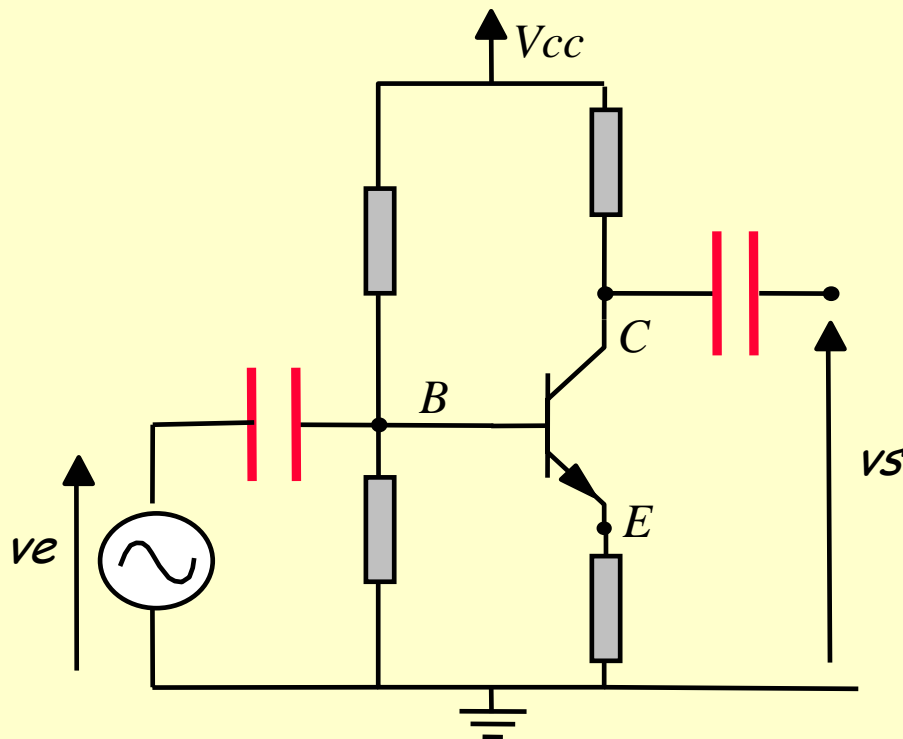


Schéma équivalent du transistor vis-à-vis des variations

Autour d'un point de polarisation, les relations entre les faibles variations sont décrite d'une façon simplifiée par :

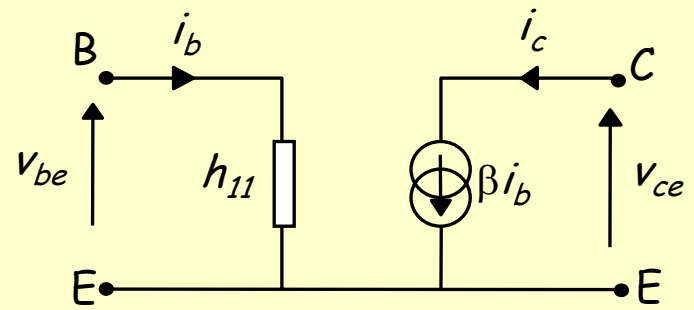
$$\begin{cases} v_{BE} = h_{11} i_B \\ i_C = \beta i_B \end{cases}$$

Le terme h_{11} donne la relation entre une tension et un courant, il est donc homogène à une résistance.

On obtient donc le schéma équivalent ci-dessous.

Chaque transistor a sa propre valeur de h_{11} , une valeur approximative est donnée par :

$$h_{11} = \frac{26\beta}{(I_E)_{mA}}$$

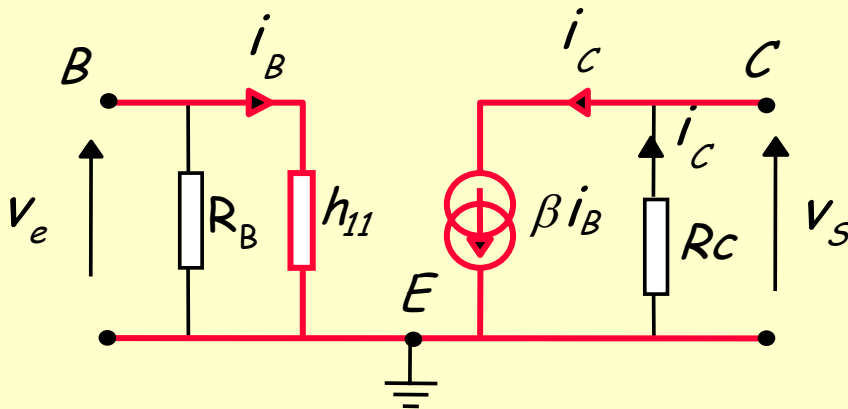
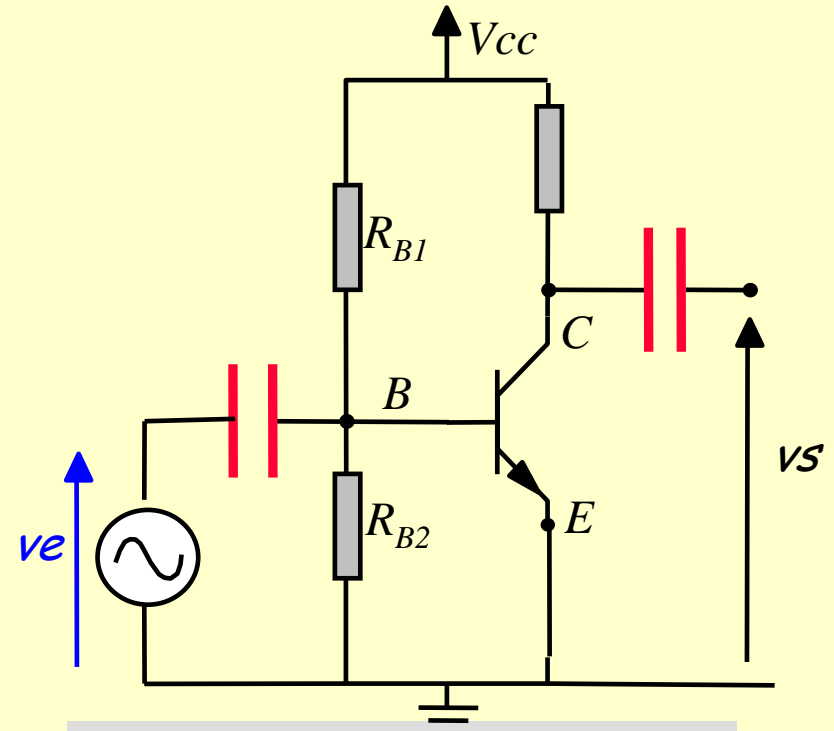


Montage émetteur commun

Ce montage tire son nom du fait que l'émetteur est relié à la masse.

Dans le schéma équivalent pour les variation :

- les condensateurs sont des courts-circuits
- L'alimentation est une masse car sa valeur ne peut varier
- $R_B = R_{B1} // R_{B2}$



Gain en tension

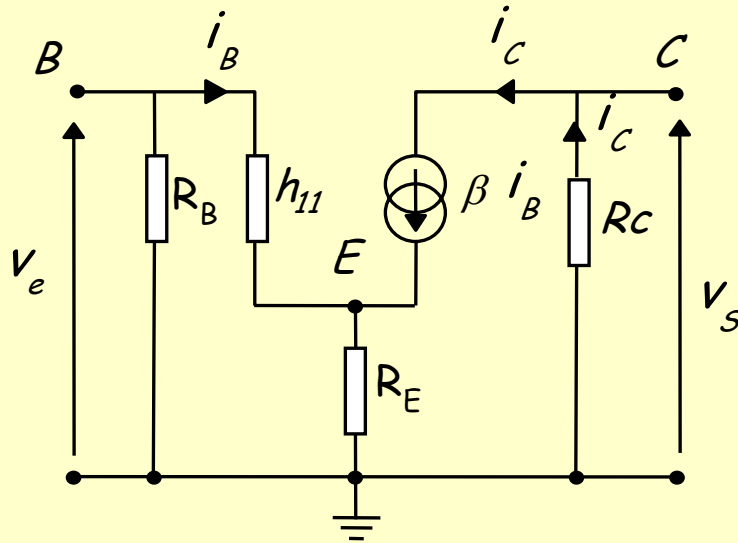
$$v_e = h_{11} i_b$$

$$v_s = -R_c i_c = -R_c \beta i_b$$

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{\beta R_c}{h_{11}}$$

Emetteur commun avec résistance d'émetteur

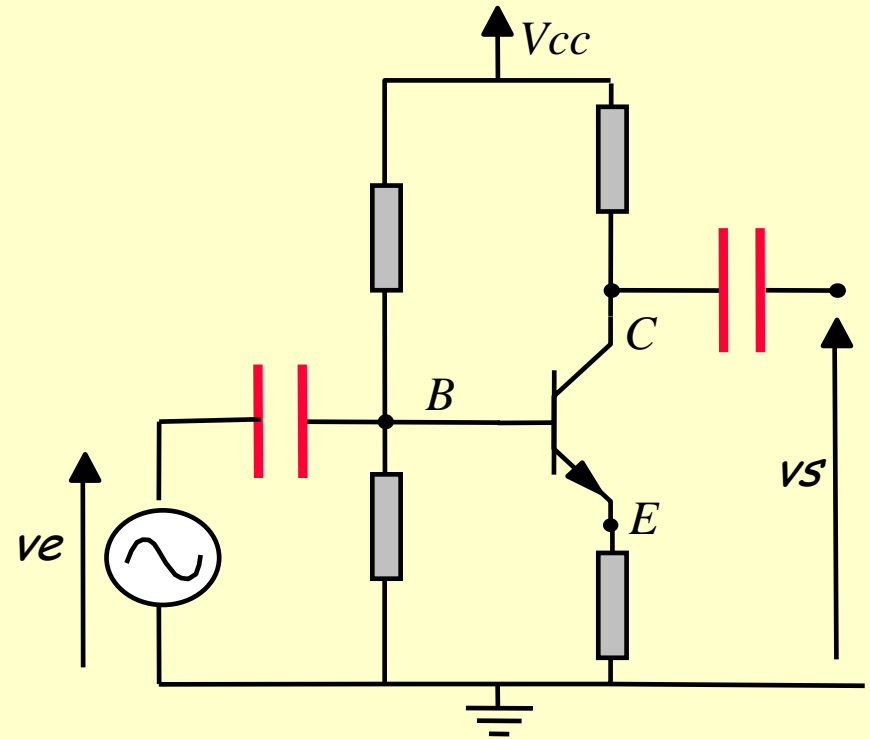
Le montage décrit ci-dessus présente l'inconvénient d'instabilité thermique. On y remédie en introduisant une résistance d'émetteur.



$$v_s = -R_c i_c = -R_c \beta i_b$$

$$v_e = h_{11} i_b + R_E (\beta + 1) i_b = (h_{11} + (\beta + 1) R_E) i_b$$

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{\beta R_c}{h_{11} + (\beta + 1) R_E} \approx -\frac{R_c}{R_E}$$



Application numérique 1

Polarisation :

calculer les résistances pour avoir
 $V_{CE} = 6V$, $I_C = 1mA$

Étude dynamique :

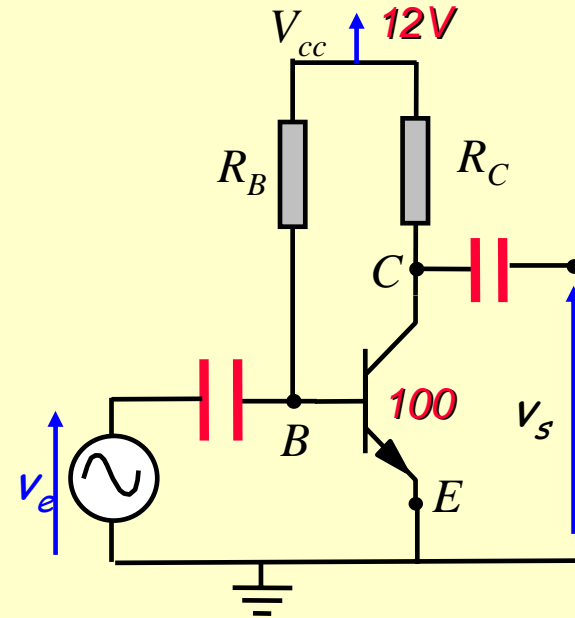
Calculer h_{11} et le gain en tension A_v

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{6V}{1mA} = 6 K$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{11.3V}{0.01mA} = 1.13 M\Omega$$

$$h_{11} = \frac{26\beta}{(I_E)_{mA}} = 2600 \Omega$$

$$A_v = - \frac{\beta R_c}{h_{11}} = - \frac{100 \times 6k}{2.6k} \approx -230$$



Cet amplificateur a un gain de 230 qui est une valeur tout à fait respectable pour ce genre d'amplificateur

Application numérique 2

Polarisation :

calculer les résistances pour avoir :

$$V_{CE} = 5V, V_E = 1V, I_C = 1mA$$

Étude dynamique :

Calculer h_{11} et le gain en tension

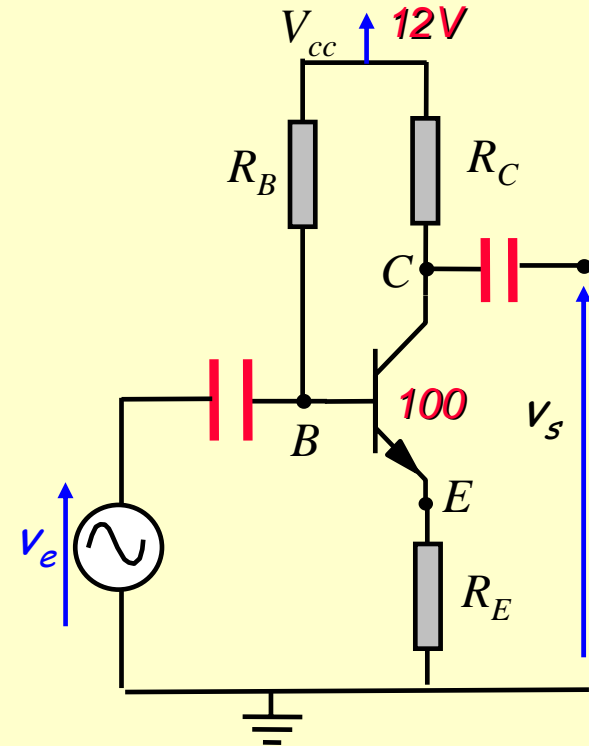
$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{1V}{1mA} = 1 K$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{6V}{1mA} = 6 K$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_B}{I_B} = \frac{10.3V}{0.01mA} \approx 1 M\Omega$$

$$h_{11} = \frac{26\beta}{(I_E)_{mA}} = 2600 \Omega$$

$$A_v = - \frac{R_C}{R_E} = - \frac{6K}{1K} = - 6$$



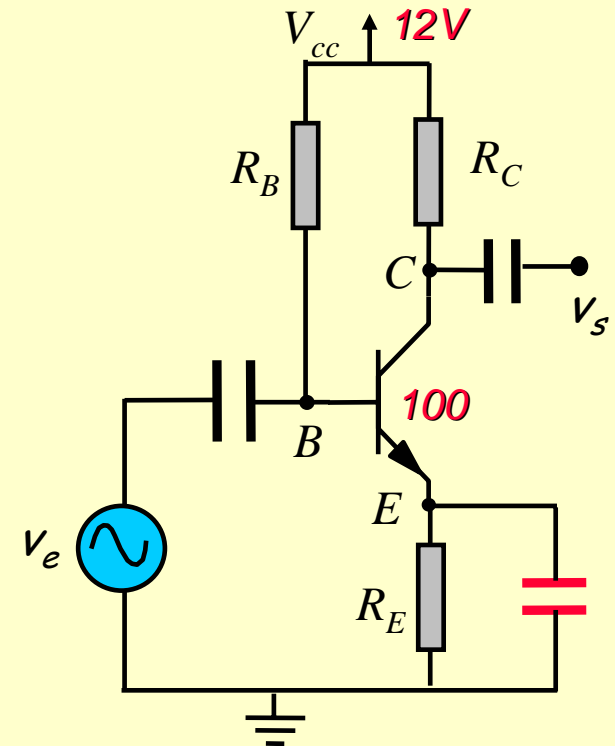
La résistance R_E a un rôle de stabilisation thermique mais elle a une influence **néfaste** sur du gain en tension. Il va falloir trouver une **parade**.

La parade

La résistasse R_E est découplée par un condensateur qui :

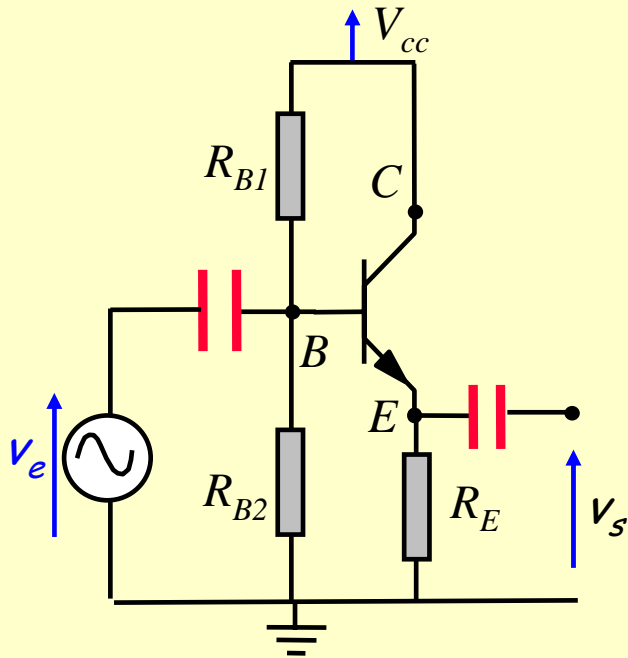
- N'intervient pas en statique, et R_E peut jouer son rôle de stabilisation thermique
- Se comporte comme un court-circuit en dynamique, R_E n'apparaît pas dans le schéma équivalent et l'expression du gain est :

$$A_v = -\frac{\beta R_c}{h_{11}}$$



R_E est présente pour les courants continus et absente pour pour les courants alternatifs

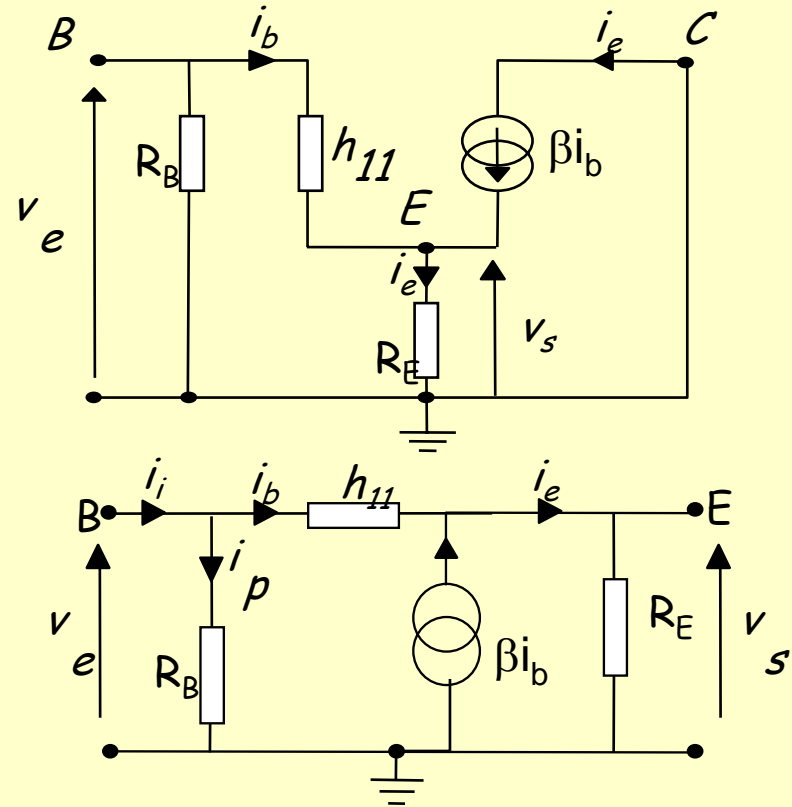
Montage collecteur commun



$$v_e = h_{11}i_b + R_E(\beta + 1)i_b$$

$$v_s = R_E(\beta + 1)i_b$$

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = \frac{(\beta + 1) R_E}{h_{11} + (\beta + 1) R_E} \approx 1$$

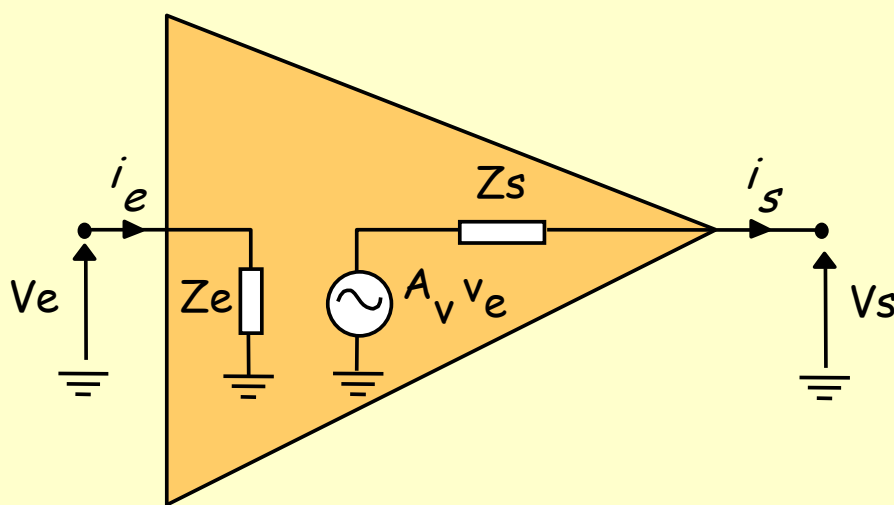


On peut se demander à quoi sert ce montage puisqu'il a un gain de 1. C'est ce qu'on va voir !

Impédance d'entrée et de sortie

Le gain en tension seul ne suffit pas à caractériser un amplificateur.

- Vu de l'entrée, l'amplificateur se comporte comme une résistance qu'on appelle impédance d'entrée.
- Vu de la sortie, il se comporte comme un générateur de tension interne $V_i = A_v V_e$ en série avec une résistance qu'on appelle l'impédance de sortie



$$Z_e = \frac{V_e}{i_e} \quad Z_s = \frac{V_{s)co}}{i_{s)cc}}$$

- Un bon amplificateur est caractérisé par :
- Z_e très élevée
- Z_s très faible

Compromis Gain - Impédances

Émetteur commun

$$Z_e = R_B // h_{11}$$

$$Z_s = R_c$$

Collecteur commun

$$Z_e = R_B // (h_{11} + \beta R_E)$$

$$Z_s = \frac{h_{11}}{\beta}$$

Reprenons l'exemple précédent

$$A_v = 230$$

$$Z_e = 1M // 2.6K \approx 2.6 k$$

$$Z_c = R_c = 6K$$

Si on prend un C.C. avec
 $V_E = 6V$ et $I_E = 1 \text{ mA}$
 $R_E = 6k$, $R_B = 530k$, $h_{11} = 2.6k$

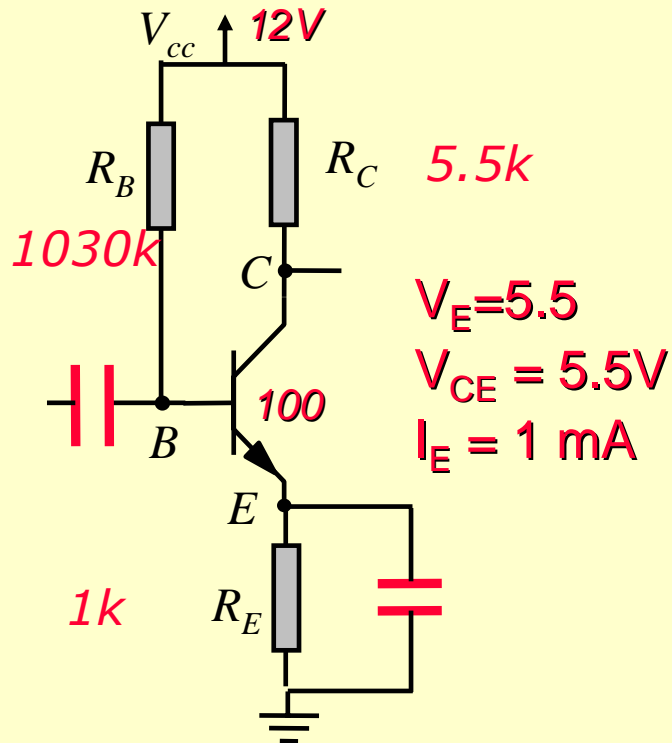
$$A_v = 1$$

$$Z_e \approx 280 K$$

$$Z_c = 26 \Omega$$

On constate que l'E.C. a un bon gain mais des impédance médiocre alors que le C.C. a un gain médiocre et des impédances très correctes

Application Comparative

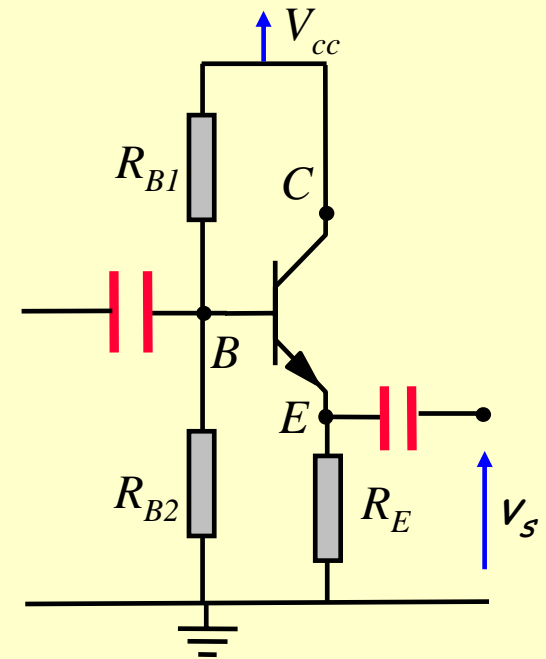


$$AV = -210$$

$$Z_e = 2.6k$$

$$Z_s = 5.5K$$

Voici 2 montages, un EC et un CC



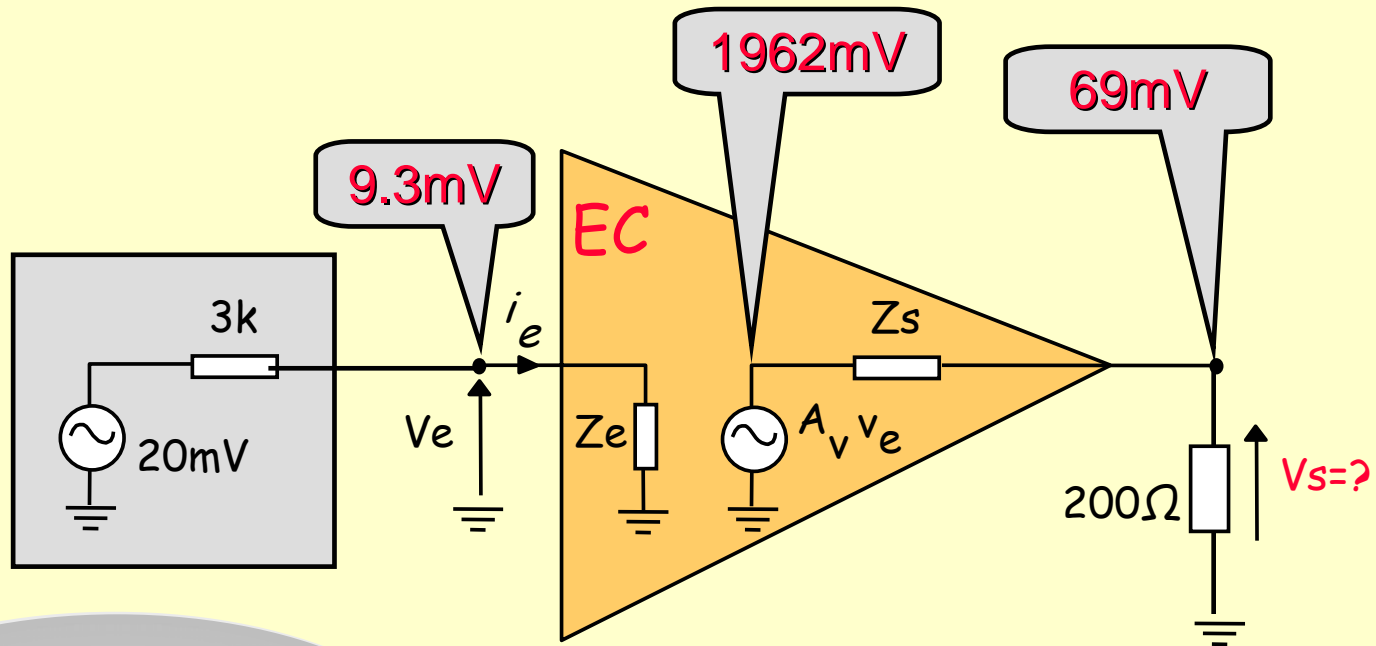
$$V_E = 6V \text{ et } I_E = 1mA$$

$$AV = 1$$

$$Z_e = 282k$$

$$Z_s = 26\Omega$$

Emetteur commun seul



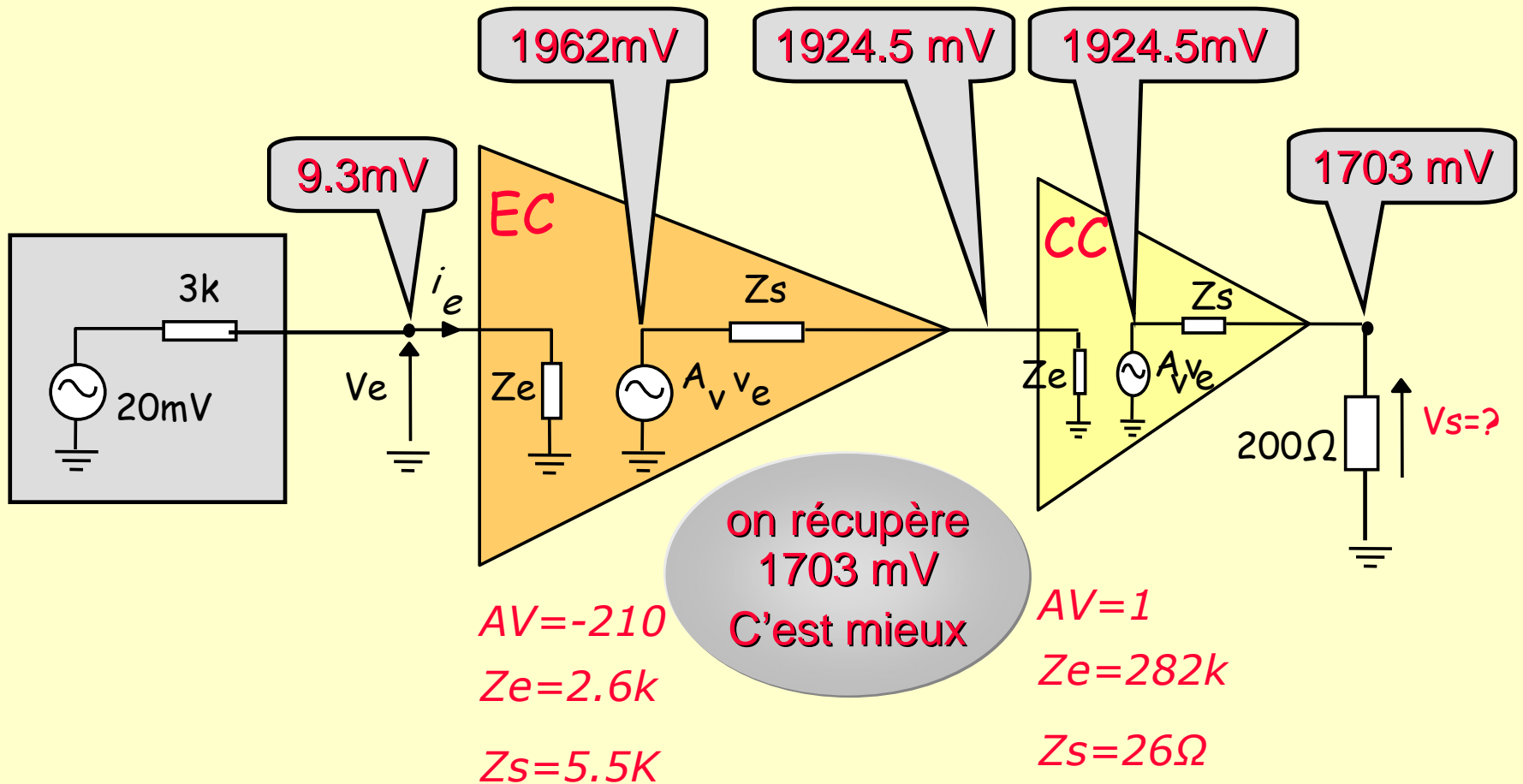
On injecte 20 mv,
on récupère 69 mV
et pourtant, on a un
gain de 210

$$A_V = -210$$

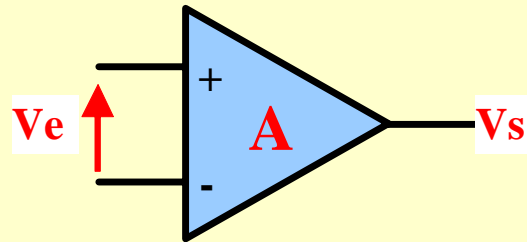
$$Z_e = 2.6k$$

$$Z_s = 5.5K$$

Emetteur commun suivi du Collecteur commun

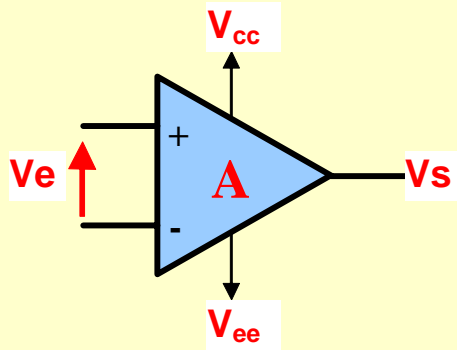


Amplificateur Opérationnel



- Amplificateur Différentiel à très grand gain :
 $V_s = A V_e$ avec $A > 10^6$
- Très grande Impédance d'entrée $\sim \infty$
⇒ Courants d'entrée **nuls**
- Très faible impédance de sortie

Mode de fonctionnement linéaire



$$V_s = A (V^+ - V^-)$$

- Ampli Op alimenté entre V_{cc} et V_{ee}
 - ➡ $V_{cc} < V_s < V_{ee}$ soit $V_s = qq \text{ Volts}$
- Comme A est très grand
 - ➡ $(V^+ - V^-) \approx 0$



$$V^+ = V^-$$

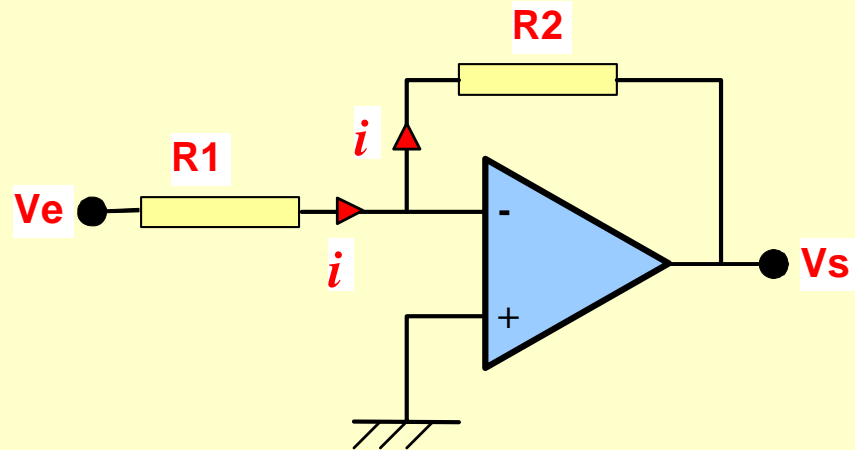
Amplificateur inverseur

$$V^+ = 0 \Rightarrow V^- = 0 \rightarrow \text{masse virtuelle}$$

$$v_e = R_1 i$$

$$v_s = -R_2 i$$

$$v_s = -\frac{R_2}{R_1} v_e$$



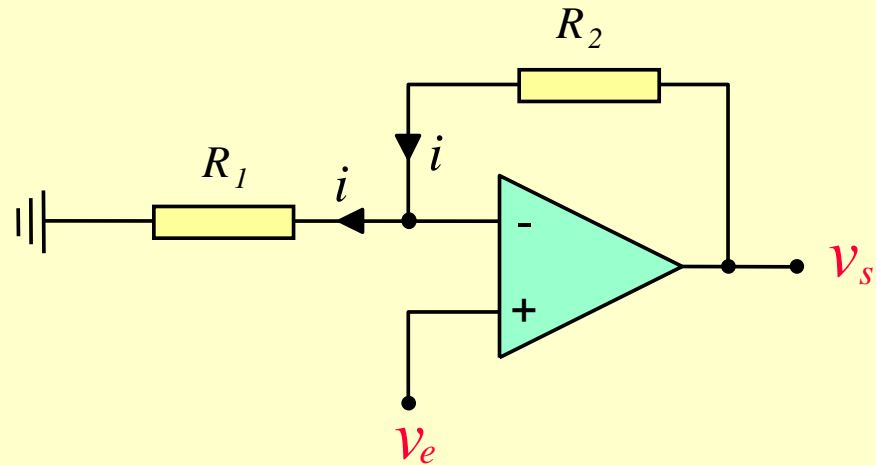
Amplificateur Non Inverseur

$$V^+ = v_e \Rightarrow V^- = v_e$$

$$v_e = R_1 i$$

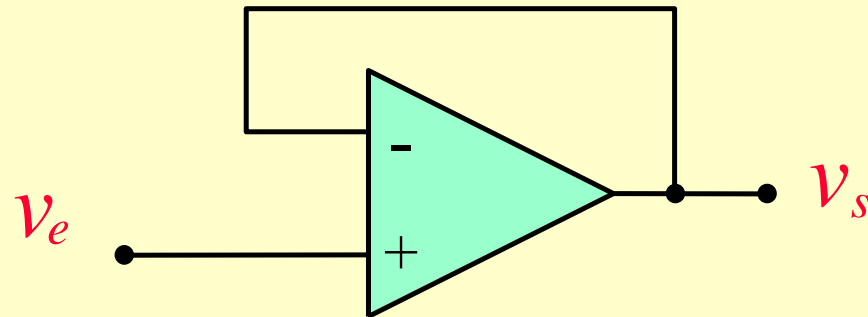
$$v_s - v_e = R_2 i$$

$$v_s = v_e + \frac{R_2}{R_1} v_e = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_e$$



$$v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_e$$

Montage suiveur



$$v_s = v_e$$

$$Z_e = \infty$$

$$Z_s = 0$$

Sommateur inverseur

$$v_1 = R_1 i_1$$

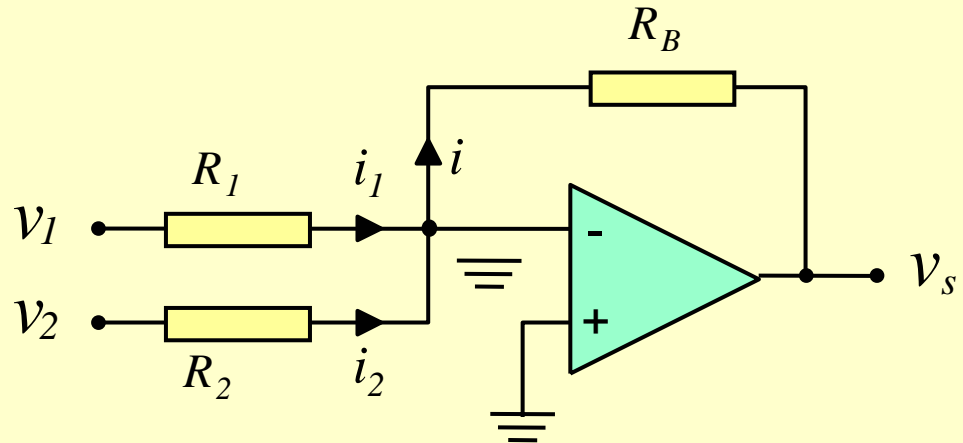
$$v_2 = R_2 i_2$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$v_s = -R_B i$$

$$V_s = -R_B \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

$$\text{avec } R_1 = R_2 = R_A$$

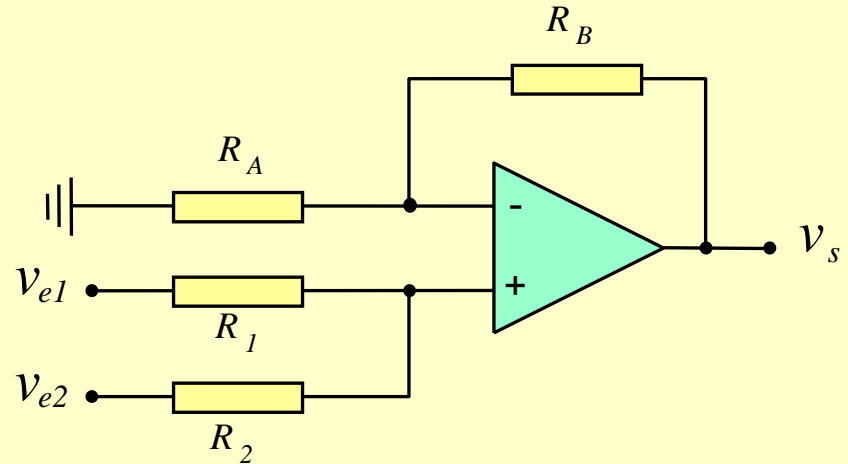


$$V_s = -\frac{R_B}{R_A} (v_1 + v_2)$$

Sommateur Non Inverseur

$$v^+ = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2}$$

$$v^- = \frac{R_A}{R_A + R_B} v_s$$



$$\frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_A}{R_A + R_B} v_s$$

$$v_s = \frac{R_A + R_B}{R_A (R_1 + R_2)} (R_2 v_1 + R_1 v_2)$$

Si $R_1 = R_2$

$$v_s = \frac{R_A + R_B}{2 R_A} (v_1 + v_2)$$

Si en plus $R_A = R_B$

$$v_s = v_1 + v_2$$

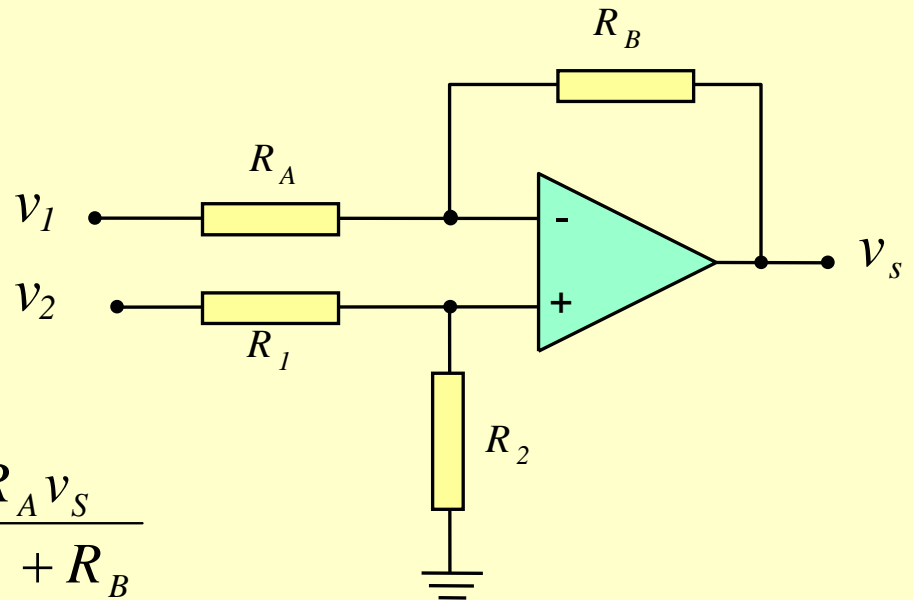
Amplificateur différentiel

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2$$

$$v^- = \frac{R_B v_1 + R_A v_S}{R_A + R_B}$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 = \frac{R_B v_1}{R_A + R_B} + \frac{R_A v_S}{R_A + R_B}$$

$$v_s = \frac{R_A + R_B}{R_A} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 - \frac{R_B}{R_A + R_B} v_1 \right)$$



Si $R_1 = R_2$ et $R_A = R_B$

$$v_s = v_2 - v_1$$

Montage integrateur

$$v_c = -v_s$$

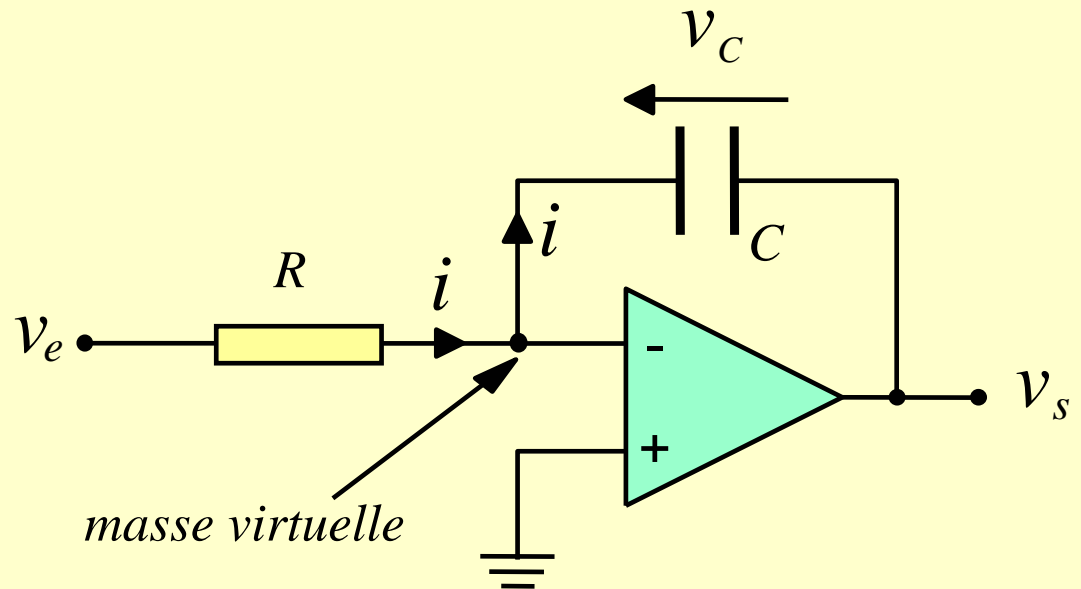
$$v_e = Ri$$

$$i = \frac{v_e}{R}$$

$$Q = CV_c$$

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dv_c}{dt}$$

$$v_c = \frac{1}{C} \int i(t) dt = -v_s$$



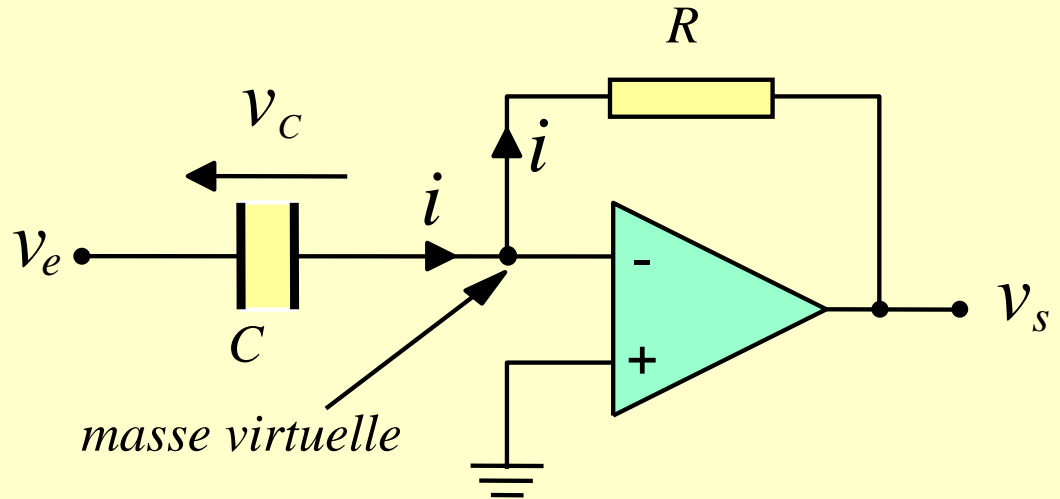
$$v_s = -\frac{1}{CR} \int v_e(t) dt$$

Montage dérivateur

$$v_c = v_e$$

$$i = C \frac{dV_c}{dt} = C \frac{dv_e}{dt}$$

$$v_s = -Ri$$



$$v_s = -RC \frac{dv_e}{dt}$$